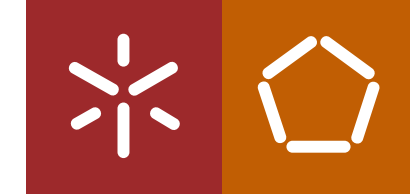


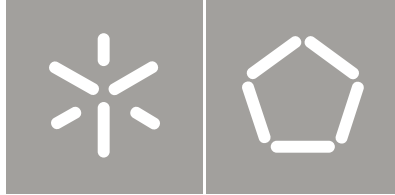


António José Silva Fernandes

Aplicação de métodos heurísticos no  
planeamento de rotas:  
o caso da Tecniwood-Soluções

Universidade do Minho  
Escola de Engenharia





Universidade do Minho  
Escola de Engenharia

António José Silva Fernandes

Aplicação de métodos heurísticos no  
planeamento de rotas:  
o caso da Tecniwood-Soluções

Tese de Mestrado  
Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao  
Grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial

Trabalho efetuado sob a orientação do  
Professor José António Vasconcelos Oliveira



# Agradecimentos

---

A realização da presente dissertação apenas foi possível, devido ao apoio que algumas pessoas forneceram ao longo da sua realização. Um agradecimento especial ao professor-orientador José António Vasconcelos Oliveira pela disponibilidade demonstrada e contributo que permitiram levar este projeto a bom porto.

Agradeço igualmente ao Hugo Frederico Carvalho e Silva, orientador na Tecniwood-Soluções, à minha família e amigos e ainda a todas as pessoas que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

## Resumo

O facto de a concorrência aumentar de dia para dia leva a que as empresas tenham necessidade de se tornarem cada vez mais eficientes. Tendo em conta que a logística é uma das principais fontes de despesa de uma empresa é por isso importante que esta funcione da melhor maneira possível. A logística encontra-se presente em áreas como o transporte, controlo de inventário, compras, armazenamento, movimentação de materiais, entre outros, contudo este projeto apenas irá analisar a vertente do transporte.

A presente dissertação foi desenvolvida na Tecniwood-Soluções, uma empresa de distribuição de derivados de madeira e madeira maciça, cuja logística de transporte representa uma grande fonte de despesa. Por esse motivo, é proposto o desenvolvimento de um modelo que consiga lidar com todas as restrições de uma empresa deste ramo e ao mesmo tempo consiga apresentar uma boa solução num curto período de tempo. Esse modelo, heurística do *cluster* mais próximo, foi confrontado com um exemplo real de um dia de planeamento de rotas da Tecniwood-Soluções, conseguindo no final apresentar uma boa solução num curto período de tempo.

No futuro ainda será necessário concluir as etapas em falta na heurística do *cluster* mais próximo e no software que irá incorporar esse modelo.

**Palavras-Chave:** Logística, Transporte de mercadorias, Problema do caixeiro-viajante, *Routing*, *Vehicle Routing Problem*, *Team Orienteering Problem*, Heurística do *cluster* mais próximo.

# Abstract

With the rise in competition among companies, all of them are increasingly obligated to become more efficient, and because logistics is one of the major sources of expenses in a company, it's extremely important that this sector functions in the most efficient manner possible. Logistics involves different resources such as transportation, inventory, purchasing, warehousing, material handling, and many others, but this project will analyze only the transportation sector.

The present dissertation was developed at Tecniwood-Soluções, which is a wood-based products and solid-wood wholesale company, where logistics is one of the major sources of expenditure. Therefore, the development of an algorithm that can deal with the constraints of a company in this field and provide, at the same time, an effective solution in a short period, was proposed. This algorithm, the nearest cluster algorithm, was tested with a real routing problem that occurs at Tecniwood-Soluções and, as a result, it was possible to develop an effective solution in a minimum of time.

In the future, it will be necessary to complete the missing steps of the nearest cluster algorithm, as well as the software that will incorporate that algorithm.

**Keywords:** Logistics, Transportation, Traveling salesman problem, Routing, Vehicle Routing Problem, Team Orienteering Problem, Nearest cluster algorithm.

# Lista de abreviaturas

---

3PL – Third Party Logistics

4PL – Fourth Party Logistics

CD – Centro de Distribuição

CVRP – Capacitated Vehicle Routing Problem

ERP – Enterprise Resource Planning

FSMVRP – Fleet Size and Mix Vehicle Routing Problem

GPS – Global Positioning System

HVRP – Heterogeneous Vehicle Routing Problem

MDVRP – Multi-Depot Vehicle Routing Problem

OVRP – Open Vehicle Routing Problem

OP – Orienteering Problem

PHP – Hypertext Preprocessor

RPDPTW – Rich Pickup and Delivery Problem with Time Windows

SDVRP – Site-Dependent Vehicle Routing Problem

TOP – Team Orienteering Problem

VRP – Vehicle Routing Problem

VRPB – Vehicle Routing Problem with Backhauls

VRPHTW – Vehicle Routing Problem with Hard Time Windows

VRPPD – Vehicle Routing Problem with Pick-Up and Delivering

VRPSTW – Vehicle Routing Problem with Soft Time Windows

VRPTW – Vehicle Routing Problem with Time Windows

# Índice

Agradecimentos .....	ii
Resumo .....	iii
Abstract.....	iv
Lista de abreviaturas .....	v
Índice .....	vii
Índice de ilustrações .....	ix
Índice de tabelas .....	xii
1 Introdução.....	1
1.1 Enquadramento .....	1
1.2 Problema de investigação .....	3
1.3 Metodologias de investigação.....	5
1.3.1 Etapas da investigação .....	5
1.3.2 Questão de investigação.....	6
1.4 Estrutura da dissertação .....	7
2 Revisão da Literatura .....	9
2.1 Transporte de mercadorias.....	9
2.2 Problema do caixeiro-viajante .....	12
2.2.1 Heurística do vizinho mais próximo .....	13
2.2.2 Análise por clusters .....	14

2.3	Vehicle Routing Problem.....	16
2.3.1	CVRP – Capacitated Vehicle Routing Problem .....	17
2.3.2	MDVRP – Multi-Depot Vehicle Routing Problem.....	18
2.3.3	OVRP – Open Vehicle Routing Problem .....	18
2.3.4	SDVRP – Site-Dependent Vehicle Routing Problem .....	19
2.3.5	VRPPD – Vehicle Routing Problem with Pick-Up and Delivering	20
2.3.6	VRPTW – Vehicle Routing Problem with Time Windows .....	21
2.4	Team Orienteering Problem.....	22
3	Estudo de caso .....	25
3.1	Apresentação da Tecniwood-Soluções .....	25
3.1.1	Produtos comercializados .....	27
3.1.2	Tipologia dos clientes .....	30
3.1.3	Cadeia de abastecimento .....	31
3.2	Sistema logístico da Tecniwood-Soluções.....	36
3.2.1	Centros de distribuição.....	36
3.2.2	Frota .....	39
3.3	Planeamento de rotas na Tecniwood-Soluções.....	43
4	Metodologia desenvolvida .....	48
4.1	Heurística do cluster mais próximo .....	48
4.2	Resolução de uma instância real .....	53
4.2.1	Clustering .....	53
4.2.2	Afetação de clientes/clusters às viaturas .....	54
4.2.3	Definição de rotas .....	61
4.3	Software .....	66
5	Conclusões e trabalho futuro.....	72
	Referências bibliográficas .....	74
	Concelhos constituintes de Portugal Continental .....	80

# Índice de ilustrações

ILUSTRAÇÃO 1 - PRINCIPAIS OPERAÇÕES DA CADEIA DE ABASTECIMENTO DE UMA EMPRESA.....	2
ILUSTRAÇÃO 2 - DIFERENTES MEIOS DE TRANSPORTE: AÉREO, FERROVIÁRIO, RODOVIÁRIO, MARÍTIMO. <i>ADAPTADO DE SWAN TRANSPORTATION SERVICES, LTD (2011).</i> .....	10
ILUSTRAÇÃO 3 – EXEMPLO DE UM PROBLEMA DE CAIXEIRO-VIAJANTE .....	13
ILUSTRAÇÃO 4 – EXEMPLO DE UM PROBLEMA DE ROTAS SOLUCIONADO ATRAVÉS DE UMA ANÁLISE POR <i>CLUSTERS</i> .....	15
ILUSTRAÇÃO 5 - LOCALIZAÇÃO DAS 150 PRINCIPAIS CIDADES EUROPEIAS. <i>RETIRADO DE BARRETO ET AL. (2007).</i> .....	15
ILUSTRAÇÃO 6 - ROTA DE UM VEÍCULO DEFINIDA POR UM PROBLEMA CVRP. <i>RETIRADO DE KIM ET AL. (2006).</i> .....	17
ILUSTRAÇÃO 7 - ROTA DE DOIS VEÍCULOS COM ENTREGA E RECOLHA. <i>RETIRADO DE GANESH E NARENDHAN, (2007).</i> .....	20
ILUSTRAÇÃO 8 – EXEMPLO DE UM TOP PARA 8 POSSÍVEIS CLIENTES. <i>RETIRADO DE BOULY ET AL. (2010).</i> .....	23
ILUSTRAÇÃO 9 - REPRESENTAÇÃO DAS ÁREAS DE NEGÓCIO DO GRUPO TECNIWOOD-MADEICÁVADO .....	26
ILUSTRAÇÃO 10 - MAPA COM OS CENTROS DE DISTRIBUIÇÃO DA TECNIWOOD-SOLUÇÕES. <i>ADAPTADO DE TECNIWOOD- MADEICÁVADO – MADEIRAS, SA (2011).</i> .....	27
ILUSTRAÇÃO 11 - PRINCIPAIS FORNECEDORES DA TECNIWOOD-SOLUÇÕES. <i>RETIRADO DE TECNIWOOD-SOLUÇÕES – MADEIRAS E DERIVADOS, LDA. (2012).</i> .....	27
ILUSTRAÇÃO 12 - REPRESENTAÇÃO DA FORMA DE ACONDICIONAMENTO DAS PLACAS.....	28
ILUSTRAÇÃO 13 - REPRESENTAÇÃO DA FORMA DE ACONDICIONAMENTO DA MADEIRA MACIÇA .....	29
ILUSTRAÇÃO 14 - REPRESENTAÇÃO DA FORMA DE ACONDICIONAMENTO DOS PAVIMENTOS.....	29
ILUSTRAÇÃO 15 - REPRESENTAÇÃO DA FORMA DE ACONDICIONAMENTO DAS PORTAS E COMPONENTES.....	30
ILUSTRAÇÃO 16 - INSTALAÇÕES DA TECNIWOOD-INDÚSTRIA .....	31
ILUSTRAÇÃO 17 - REPRESENTAÇÃO DA CADEIA DE ABASTECIMENTO DA TECNIWOOD-SOLUÇÕES .....	31
ILUSTRAÇÃO 18 - REPRESENTAÇÃO DE CATÁLOGOS UTILIZADOS PELO DEPARTAMENTO DE COMPRAS MAIS <i>SCREENSHOT</i> DO MENU “COMPRAS” .....	32
ILUSTRAÇÃO 19 - CENTRO DE DISTRIBUIÇÃO DE BRAGA VISTO DE TOPO .....	33
ILUSTRAÇÃO 20 - FROTA DE EMPILHADORES PRESENTES NO CENTRO DE DISTRIBUIÇÃO DE BRAGA.....	34
ILUSTRAÇÃO 21 - REPRESENTAÇÃO DAS ETIQUETAS UTILIZADAS PELA TECNIWOOD-SOLUÇÕES EM ARMAZÉM MAIS <i>SCREENSHOT</i> DO MENU “PRODUTOS” .....	35



ILUSTRAÇÃO 22 - REPRESENTAÇÃO DO BALCÃO DE ATENDIMENTO MAIS SALA DE ASSISTÊNCIA DE VENDAS DO CENTRO DE DISTRIBUIÇÃO DE BRAGA .....	35
ILUSTRAÇÃO 23 - <i>SCREENSHOT</i> DO MENU "ENVIOS" E GOOGLE MAPS.....	36
ILUSTRAÇÃO 24 - REPRESENTAÇÃO DE 4 CD DA TECNIWOOD-SOLUÇÕES E RESPECTIVA ZONA DE DISTRIBUIÇÃO.....	37
ILUSTRAÇÃO 25 - REPRESENTAÇÃO DAS ZONAS DE DISTRIBUIÇÃO ASSOCIADAS A CADA CENTRO DE DISTRIBUIÇÃO.....	39
ILUSTRAÇÃO 26 - EXEMPLO DE UM MAPA DE <i>PICKING</i> DA TECNIWOOD-SOLUÇÕES .....	47
ILUSTRAÇÃO 27 - REPRESENTAÇÃO DOS DISTRITOS PORTUGUESES CONSTITUINTES DO TERRITÓRIO NACIONAL CONTINENTAL E RESPECTIVA DISTÂNCIA ENTRE ELES .....	50
ILUSTRAÇÃO 28 - REPRESENTAÇÃO DAS ETAPAS NECESSÁRIAS PARA A CRIAÇÃO DOS <i>CLUSTERS</i> E <i>SUBCLUSTERS</i> .....	51
ILUSTRAÇÃO 29 - EXEMPLO DE UM EXERCÍCIO DE OTIMIZAÇÃO RECORRENDO À HEURÍSTICA DO <i>CLUSTER</i> MAIS PRÓXIMO.....	52
ILUSTRAÇÃO 30 - REPRESENTAÇÃO DOS PROCEDIMENTOS REALIZADOS PELO ALGORITMO NA AFETAÇÃO DE CLIENTES AO VEÍCULO DE 200 U.P. (ROTA 1) .....	55
ILUSTRAÇÃO 31 - REPRESENTAÇÃO DOS PROCEDIMENTOS REALIZADOS PELO ALGORITMO NA AFETAÇÃO DE CLIENTES AO VEÍCULO DE 64 U.P. (ROTA 2) .....	56
ILUSTRAÇÃO 32 - REPRESENTAÇÃO DOS PROCEDIMENTOS REALIZADOS PELO ALGORITMO NA AFETAÇÃO DE CLIENTES AO VEÍCULO DE 64 U.P. (ROTA 3) .....	57
ILUSTRAÇÃO 33 - REPRESENTAÇÃO DOS PROCEDIMENTOS REALIZADOS PELO ALGORITMO NA AFETAÇÃO DE CLIENTES AO VEÍCULO DE 64 U.P. (ROTA 4) .....	58
ILUSTRAÇÃO 34 - REPRESENTAÇÃO DOS PROCEDIMENTOS REALIZADOS PELO ALGORITMO NA AFETAÇÃO DE CLIENTES AO VEÍCULO DE 64 U.P. (ROTA 5) .....	59
ILUSTRAÇÃO 35 - REPRESENTAÇÃO DOS PROCEDIMENTOS REALIZADOS PELO ALGORITMO NA AFETAÇÃO DE CLIENTES AO VEÍCULO DE 64 U.P. (ROTA 6) .....	60
ILUSTRAÇÃO 36 - REPRESENTAÇÃO DOS PROCEDIMENTOS REALIZADOS PELO ALGORITMO NA AFETAÇÃO DE CLIENTES AO VEÍCULO DE 64 U.P. (ROTA 7) .....	60
ILUSTRAÇÃO 37 - REPRESENTAÇÃO DOS PROCEDIMENTOS REALIZADOS PELO ALGORITMO NA AFETAÇÃO DE CLIENTES AO VEÍCULO DE 64 U.P. (ROTA 8) .....	61
ILUSTRAÇÃO 38 - REPRESENTAÇÃO DAS 8 ROTAS DEFINIDAS PELO ALGORITMO .....	62
ILUSTRAÇÃO 39 - REPRESENTAÇÃO DE UM DOS CAMINHOS IDEAIS PARA A ROTA DO VEÍCULO DE 200 U.P. (ROTA 1) .....	63
ILUSTRAÇÃO 40 - REPRESENTAÇÃO DE UM DOS CAMINHOS IDEAIS PARA A ROTA DO VEÍCULO DE 64 U.P. (ROTA 2) .....	63
ILUSTRAÇÃO 41 - REPRESENTAÇÃO DE UM DOS CAMINHOS IDEAIS PARA A ROTA DO VEÍCULO DE 64 U.P. (ROTA 3) .....	64
ILUSTRAÇÃO 42 - REPRESENTAÇÃO DE UM DOS CAMINHOS IDEAIS PARA A ROTA DO VEÍCULO DE 64 U.P. (ROTA 4) .....	64
ILUSTRAÇÃO 43 - REPRESENTAÇÃO DE UM DOS CAMINHOS IDEAIS PARA A ROTA DO VEÍCULO DE 64 U.P. (ROTA 5) .....	65
ILUSTRAÇÃO 44 - REPRESENTAÇÃO DE UM DOS CAMINHOS IDEAIS PARA A ROTA DO VEÍCULO DE 64 U.P. (ROTA 6) .....	65
ILUSTRAÇÃO 45 - REPRESENTAÇÃO DE UM DOS CAMINHOS IDEAIS PARA A ROTA DO VEÍCULO DE 64 U.P. (ROTA 7) .....	66
ILUSTRAÇÃO 46 - REPRESENTAÇÃO DO CAMINHO IDEAL PARA A ROTA DO VEÍCULO DE 64 U.P. (ROTA 8) .....	66
ILUSTRAÇÃO 47 - ESQUEMA REPRESENTATIVO DO MODO DE FUNCIONAMENTO DO DRUPAL.....	67
ILUSTRAÇÃO 48 - <i>SCREENSHOT</i> DO SEPARADOR "CENTROS DE DISTRIBUIÇÃO" .....	67
ILUSTRAÇÃO 49 - <i>SCREENSHOT</i> DO SEPARADOR "CENTROS DE DISTRIBUIÇÃO - BRAGA" .....	68

ILUSTRAÇÃO 50 - <i>SCREENSHOT</i> DO SEPARADOR "VIATURAS" .....	69
ILUSTRAÇÃO 51 - <i>SCREENSHOT</i> DO SEPARADOR "CLIENTES" .....	69
ILUSTRAÇÃO 52 - <i>SCREENSHOT</i> DO SEPARADOR "CLIENTES - CL001" .....	70
ILUSTRAÇÃO 53 - <i>SCREENSHOT</i> DO SEPARADOR "ENCOMENDAS" .....	71

# Índice de tabelas

TABELA 1 - COMPARAÇÃO ENTRE OS DIFERENTES MEIOS DE TRANSPORTE .....	10
TABELA 2 - CARATERÍSTICAS DA FROTA DA TECNIWOOD-SOLUÇÕES PRESENTE NO CENTRO DE DISTRIBUIÇÃO DE BRAGA.....	41
TABELA 3 - EXEMPLO DE UM PROBLEMA REAL NO PLANEAMENTO DE ROTAS DA TECNIWOOD-SOLUÇÕES .....	53
TABELA 4 – CONCELHOS CONSTITUINTES DO DISTRITO DE AVEIRO .....	80
TABELA 5 – CONCELHOS CONSTITUINTES DO DISTRITO DE BEJA.....	81
TABELA 6 – CONCELHOS CONSTITUINTES DO DISTRITO DE BRAGA.....	82
TABELA 7 – CONCELHOS CONSTITUINTES DO DISTRITO DE BRAGANÇA .....	83
TABELA 8 – CONCELHOS CONSTITUINTES DO DISTRITO DE CASTELO BRANCO .....	84
TABELA 9 – CONCELHOS CONSTITUINTES DO DISTRITO DE COIMBRA .....	85
TABELA 10 – CONCELHOS CONSTITUINTES DO DISTRITO DE ÉVORA.....	86
TABELA 11 – CONCELHOS CONSTITUINTES DO DISTRITO DE FARO.....	87
TABELA 12 – CONCELHOS CONSTITUINTES DO DISTRITO DA GUARDA .....	88
TABELA 13 – CONCELHOS CONSTITUINTES DO DISTRITO DE LEIRIA .....	89
TABELA 14 – CONCELHOS CONSTITUINTES DO DISTRITO DE LISBOA.....	90
TABELA 15 – CONCELHOS CONSTITUINTES DO DISTRITO DE PORTALEGRE.....	91
TABELA 16 – CONCELHOS CONSTITUINTES DO DISTRITO DO PORTO .....	92
TABELA 17 – CONCELHOS CONSTITUINTES DO DISTRITO DE SANTARÉM .....	93
TABELA 18 – CONCELHOS CONSTITUINTES DO DISTRITO DE SETÚBAL .....	94
TABELA 19 – CONCELHOS CONSTITUINTES DO DISTRITO DE VIANA DO CASTELO .....	95
TABELA 20 – CONCELHOS CONSTITUINTES DO DISTRITO DE VILA REAL .....	95
TABELA 21 – CONCELHOS CONSTITUINTES DO DISTRITO DE VISEU .....	96

# 1 Introdução

Neste capítulo é feita uma contextualização do tema escolhido com o meio envolvente, mais concretamente com a evolução da logística ao longo dos tempos em algumas das suas variantes. De seguida é apresentado o problema de investigação que motivou o desenvolvimento desta dissertação, as etapas de investigação pelas quais o projeto passou e por último é apresentada a estrutura do presente relatório.

## 1.1 Enquadramento

O facto de o mundo atual ser cada vez mais global leva a que exista um aumento da concorrência de dia para dia o que consequentemente acaba por levar a uma redução da margem de lucro. Perante esta situação as empresas aperceberam-se que o único caminho para sobreviver e obter lucro passa por reduzir custos operacionais através do aumento da eficiência. Empresas que não cumpram com estes objetivos tendem a ficar ultrapassadas e dessa forma poderão não sobreviver.

Como a logística é uma das maiores fontes de despesa nas empresas, torna-se necessário que esta seja realizada de forma eficiente, no entanto, a logística abrange um elevado conjunto de atividades/tarefas/operações. A logística é um processo de planeamento, implementação e controlo que tem por objetivo lidar com problemas de transporte, controlo de inventário, compras, armazenamento, movimentação de materiais, entre outros, de forma, a satisfazer os pedidos dos clientes (Hsiao et al., 2010).

A abrangência da logística tem vindo a aumentar ao longo da História. Inicialmente ligada ao ramo militar, devido à necessidade de as tropas se abastecerem de armamento, munições e comida, a logística começou por ser descrita como a ciência que explicava a movimentação, fornecimento e abastecimento das forças militares no campo de batalha. Mais tarde com a evolução do setor empresarial por todo o planeta, passou a ser descrita como a gestão do fluxo de materiais desde a matéria-prima até aos produtos acabados (Rodrigue e Slack, 2002).

A evolução da logística levou a que a cadeia de abastecimento deixasse de ser inteiramente realizada pelas próprias empresas, passando a recorrer cada vez mais ao *outsourcing*. Com o aparecimento de empresas como a DHL ou a TNT, começou a ser comum subcontratar atividades mais tradicionais como o transporte e o armazenamento (Hsiao et al., 2010).

Na Ilustração 1 são apresentadas as principais operações/departamentos da cadeia de abastecimento de uma empresa (produtiva).

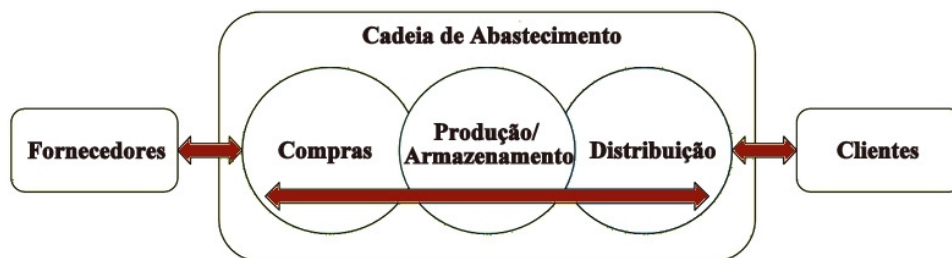


Ilustração 1 - Principais operações da cadeia de abastecimento de uma empresa

As empresas subcontratadas, também conhecidas como 3PL (*Third Party Logistics*), são fornecedores de serviços que desempenham funções logísticas que incluem: transporte, armazenamento, distribuição e serviços financeiros (Marasco, 2008; Büyüközkan et al., 2009). Sempre que uma empresa presta um serviço logístico a outra, como por exemplo, transportar um determinado material de um local para o outro está a prestar um serviço de transporte.

Mais tarde, viriam a surgir as 4PL (*Fourth Party Logistics*) e segundo a Accenture Inc., 4PL é definido como um integrador da cadeia logística que gere os recursos, capacidades e tecnologia da sua própria organização com os serviços prestados pelos 3PL (Badem e Mueller, 1999).

Com o aumento do *outsourcing* do transporte de mercadorias, começaram a existir cada vez mais empresas a deixar de ter frota própria. Como tal, isto levou a um aumento das atividades de recolha e entrega. O aparecimento de um fluxo de materiais que se realizava no sentido inverso ao da logística direta levou ao aparecimento da logística inversa. Esta atividade ocorre por exemplo quando uma empresa 3PL recolhe uma mercadoria num cliente, a faz retornar às suas instalações, de forma a entregar a mesma posteriormente no local pretendido.

A logística devido à sua abrangência e complexidade tem vindo a ser continuamente melhorada, pois o seu desenvolvimento permite que as empresas se tornem mais eficientes num mundo cada vez mais competitivo. Os casos de estudo efetuados em algumas empresas, os softwares comerciais da área da logística ao dispor das empresas, bem como a integração das tecnologias baseadas no Sistemas de Posicionamento Global (*Global Positioning System* – GPS) são exemplos destas melhorias contínuas realizadas na área da logística.

O setor dos transportes que irá ser abordado neste relatório representa atualmente uma das maiores fontes de despesa da logística o que é fácil de compreender pelo consequente aumento dos preços dos combustíveis e portagens. Desta forma é de extrema importância otimizar as rotas/cargas, processo que levará a uma diminuição da despesa e muitas vezes a um aumento/melhoramento do nível de serviço de uma empresa.

## 1.2 Problema de investigação

A aplicação consistente e estruturada de métodos de otimização exatos e/ou métodos heurísticos nas empresas a nível operacional não é tão habitual como seria desejável, ficando-se muitas vezes pela aplicação em estudos de investigação científica. O dia-a-dia das empresas com todas as suas imprevisibilidades leva a que muitas

empresas ainda não tenham optado por recorrer a estes métodos, preferindo «confiar» na experiência dos seus colaboradores.

No mercado existem empresas que disponibilizam softwares para empresas de distribuição, como é o caso do Optrak. Contudo, estes softwares são mais generalistas e muitas das vezes não se adequam às necessidades das empresas. Por este motivo muitas empresas acabam por desenvolver softwares específicos para a sua área de negócio. De facto quando se leva este problema para as empresas de distribuição de derivados de madeira em Portugal, constata-se que tal é verdade. Estas empresas possuem um número de restrições tão elevado que leva as mesmas a optarem por não adquirir esses softwares.

Numa empresa de distribuição de derivados de madeira, pode-se verificar algumas restrições como:

- Capacidade de carga dos veículos;
- Volume dos veículos;
- Horário de condução dos motoristas;
- Janelas temporais por parte dos clientes;
- Dimensão dos materiais;
- Material tem que ser carregado de forma sobreposta;
- Existência de vários centros de distribuição;
- Clientes com necessidade de veículos especiais.

Outra das restrições que leva muitas vezes a que estes softwares não se adequem às empresas é o facto de existir um curto período de tempo para realizar o planeamento das rotas. Numa empresa de distribuição (grossista) o planeamento é geralmente realizado uma vez por dia, sendo que existem empresas e/ou alturas onde é necessário realizar mais do que um planeamento num só dia.

## 1.3 Metodologias de investigação

Este subcapítulo tem como objetivo descrever as etapas de investigação pelas quais este projeto passou ao longo do seu desenvolvimento, assim como apresentar a questão de investigação formulada pelo autor.

### 1.3.1 Etapas da investigação

Pode-se definir pesquisa/investigação como algo que as pessoas fazem quando procuram determinada informação de forma sistemática com o propósito de aumentarem o seu conhecimento (Saunders et al., 2009). Contudo, muitas vezes a pesquisa é utilizada de forma errada com o objetivo de impor uma ideia ou simplesmente justificá-la (Walliman, 2005). Acrescenta-se ainda que a pesquisa deve consistir num círculo vicioso de teoria e prática (Tranfield e Starkey, 1998).

Antes de se iniciar o processo de investigação é necessário que primeiro se defina uma metodologia de investigação, pois essa metodologia permitirá alcançar resultados mais favoráveis. A metodologia de investigação passa por inúmeras fases, sendo que cada fase pode vir a ser visitada mais do que uma vez. Segundo Saunders et al. (2009) essas fases são:

- Formulação e clarificação do tópico de investigação;
- Revisão crítica da literatura;
- Desenho da investigação;
- Recolha de dados;
- Análise de dados;
- Escrita dos aspetos fundamentais.

No que diz respeito à formulação e clarificação do tópico de investigação, o tema que venha a ser escolhido deverá sempre ser um tema do qual o autor goste, pois desta forma a realização do mesmo será motivadora. No entanto, é muito importante que o tema escolhido tenha facilidade de acesso a informação e que o autor possua



capacidade intelectual, temporal e financeira para desenvolver o projeto. Após uma fase de reflexão a escolha recaiu no desenvolvimento de um software de *routing* que se adeque a uma empresa de distribuição de derivados de madeira e madeira maciça.

Durante a fase de formulação do tópico foi realizada uma revisão bibliográfica da literatura, de forma a perceber como se encontrava o estado da arte. Após a escolha do tema, passou-se a uma revisão mais aprofundada onde foi possível perceber quais os novos desenvolvimentos na área em questão, assim como as lacunas que ainda existem por colmatar, em particular aquelas que dizem respeito ao tema deste projeto.

Após estas fases, inicia-se a etapa do desenho de investigação, sendo que esta é provavelmente a etapa mais importante do projeto, pois um mau planeamento da investigação levará a que não sejam atingidos os resultados pretendidos. Nesta fase é determinada a estrutura do projeto e é realizado um plano de trabalhos pelo qual o autor se guiará ao longo do projeto (Trochim e Donnelly, 2001).

De seguida, passa-se à fase de recolha de dados e análise dos mesmos, sendo que estas duas fases são realizadas inúmeras vezes até se atingirem os resultados pretendidos. Este projeto procura acima de tudo desenvolver um software de *routing* que se adeque a um problema real, por esse motivo foi importante que na fase de análise dos dados obtidos fossem consideradas situações que ocorrem no mundo real, como por exemplo, trânsito, avarias, entre muitas outras. O facto de se ter considerado questões práticas na análise dos dados levou a que os resultados obtidos estejam mais próximos da realidade. Esses dados, resultados e análise de ambos encontram-se apresentados ao longo deste relatório.

### 1.3.2 Questão de investigação

A Tecniwood-Soluções encontra-se inserida num contexto empresarial onde a concorrência é elevada e como tal a margem das vendas é diminuta, por esse motivo é imperativo que os seus custos sejam reduzidos através do aumento da eficiência. Tendo em conta que a atividade de planeamento de rotas/cargas é uma das áreas mais críticas da empresa, podendo esta representar uma das principais fontes de custo, no caso de ser mal efetuada, é importante que se consiga desenvolver um sistema que permita auxiliar essa atividade.

A tipologia dos materiais comercializados e dos clientes abastecidos pela Tecniwood-Soluções leva a que seja gerado um problema de roteamento de grande dimensão, não só pelo número de clientes a visitar, mas principalmente pelo número de restrições a que as rotas virão a estar sujeitas. No entanto, este problema não se encontra apenas presente na Tecniwood-Soluções, mas sim em todo um conjunto de grossistas de derivados de madeira espalhados pelo mundo.

Existe uma enorme variedade de métodos heurísticos que permitem alcançar boas soluções para problemas do tipo VRP ou TOP, sejam eles mais ou menos sofisticados, contudo a maior parte desses métodos são pensados e desenvolvidos a nível académico e como tal, nem sempre se adequam ao mundo real. Numa situação real como a Tecniwood-Soluções em que o planeamento é realizado diariamente num limite temporal muito curto, é necessário que os métodos sejam capazes de encontrar uma boa solução de forma rápida, mesmo que essa não seja a melhor solução.

O algoritmo deverá ter conta não só simples questões como a capacidade de carga, mas ao mesmo tempo ser capaz de reagir a situações onde existam janelas temporais ou situações em que o material a transportar exija que seja colocado como primeira descarga. Desde logo na elaboração de um algoritmo que se adequa a uma situação real se deve ter em conta que é quase impossível atingir a solução ótima que os algoritmos mais sofisticados procuram, pois no mundo real muitas vezes tem que se abdicar dessa solução em prol da satisfação de um cliente.

Sendo assim será possível desenvolver um software de *routing* que se adequa a uma empresa de distribuição de derivados de madeira, com todas as suas restrições, permitindo alcançar boas soluções de uma forma rápida?

## 1.4 Estrutura da dissertação

Este relatório é composto por um conjunto de 5 capítulos, sendo que no primeiro capítulo é dada uma introdução ao tema escolhido através de um enquadramento do mesmo com o meio envolvente e da apresentação do problema de investigação. Neste capítulo são ainda apresentadas as etapas pelas quais o processo de investigação passou e a questão de investigação que motivou o desenvolvimento deste projeto.

No segundo capítulo é apresentada a revisão crítica da literatura efetuada no desenvolvimento desta dissertação. Neste capítulo é abordada a vertente do transporte de mercadorias, assim como os problemas e modelos que surgiram para solucionar os mesmos.

No terceiro capítulo é feita referência ao estudo de caso, sendo feita uma apresentação da Tecniwood-Soluções, empresa onde este projeto decorreu. Neste ponto é apresentado um pouco da sua história, fazendo referência aos produtos que a mesma comercializa, à tipologia de clientes que abastece e à forma como se processa a sua cadeia de abastecimento. Neste capítulo são ainda apresentados o sistema logístico da Tecniwood-Soluções e a forma como o planeamento de rotas é realizado.

No quarto capítulo é apresentada a metodologia desenvolvida ao longo deste projeto e a forma como a mesma se comporta perante uma instância real. Neste capítulo é ainda apresentada uma versão inicial do software que irá aplicar esta metodologia na Tecniwood-Soluções.

Para terminar, no quinto capítulo são apresentadas as conclusões deste projeto e o trabalho que ainda será necessário realizar no futuro.

## 2 Revisão da Literatura

Neste capítulo é apresentada uma revisão aprofundada da literatura existente relativamente à logística e aos problemas e métodos emergentes da logística de transporte, em particular das empresas de distribuição de derivados de madeira e madeira maciça.

### 2.1 Transporte de mercadorias

Uma das funções mais importantes da logística e que por isso tem vindo a mostrar maior evolução ao longo dos tempos é o transporte. O transporte em 1980 representava cerca de 40,5% de todos os custos logísticos passando para 58,6% em 2000 (Hesse e Rodrigue, 2004). Por esse motivo, tornou-se cada vez mais importante torná-lo o mais eficiente possível.

Nos dias de hoje, o transporte de mercadorias tem à sua disposição um vasto leque de possibilidades, sendo que todas elas podem ser agrupadas nos seguintes grupos: aéreo (1), ferroviário (2), rodoviário (3) ou marítimo (4). Na Ilustração 2 estão representados esses diferentes meios de transporte possíveis de serem usados no transporte de mercadorias.



Ilustração 2 - Diferentes meios de transporte: Aéreo, Ferroviário, Rodoviário, Marítimo. Adaptado de Swan Transportation Services, LTD (2011).

As empresas hoje em dia têm à sua disposição qualquer um destes modos de transporte, necessitando apenas de optar por aquele que mais lhes convém. Para comparar as vantagens e desvantagens de cada modo de transporte, foi elaborada a Tabela 1 onde se analisam os diferentes modos de transporte, tendo em conta os seguintes parâmetros: Rapidez, Capacidade de carga, Flexibilidade e Custo de transporte.

Tabela 1 - Comparação entre os diferentes meios de transporte

Aéreo	Vantagem	Desvantagem	Vantagem	Desvantagem	Ferroviário
	Rapidez	Flexibilidade	Capacidade	Flexibilidade	
Rodoviário	Capacidade	Custo	Custo	Rapidez	Marítimo
	Vantagem	Desvantagem	Vantagem	Desvantagem	
	Flexibilidade	Capacidade	Capacidade	Flexibilidade	
	Rapidez	Custo	Custo	Rapidez	

**Transporte aéreo** – é o mais recente modo de transporte e é geralmente utilizado no transporte internacional de mercadorias. O transporte aéreo nos últimos anos tem «roubado» mercado ao transporte marítimo e ferroviário, pois num mundo mais global tornou-se necessário diminuir o tempo de transporte.

Este modo de transporte tem como principais vantagens a rapidez aliada à capacidade de carga. Empresas como a DHL ou UPS conseguem recolher uma mercadoria e realizar a sua entrega no dia seguinte noutra local do planeta. A sua capacidade de carga é elevada, quando comparada com o transporte rodoviário, sendo que um Boeing 747-400 Freighter consegue transportar aproximadamente 120 t e/ou 780 m<sup>3</sup> (Boeing, 2011).

Como desvantagens advém o elevado custo de transporte e a baixa flexibilidade, pois o transporte aéreo requer a existência de aeroportos o que implica que se recorra posteriormente ao transporte terrestre para finalizar a distribuição.

**Transporte ferroviário** – a par do marítimo é um dos mais antigos meios de transporte utilizados no transporte de mercadorias. Este tem como principais vantagens uma capacidade de carga elevada a um custo reduzido, no entanto, possui a desvantagem de ser pouco flexível e lento, quando comparado com o transporte rodoviário.

Muitas empresas, como por exemplo, empresas ligadas à indústria do carvão, optam muitas vezes por instalar os seus centros de distribuição junto a uma linha férrea. Desta forma, os comboios podem entrar nas suas instalações e efetuar operações de carga e descarga.

**Transporte rodoviário** – é sem dúvida o mais comum modo de transporte nos dias de hoje e isso deve-se em muito à sua flexibilidade e rapidez que possibilitam uma entrega rápida nas mais variadas situações.

Contudo, este modo de transporte tem como principais desvantagens a baixa capacidade de carga, o que acaba por tornar o transporte mais caro no caso de ser necessário transportar grandes volumes. Por norma um camião *tautliner*, o mais comum dos camiões, consegue transportar um máximo de 24/25 toneladas úteis, sendo possível transportar uma capacidade superior, mas apenas com o recurso a transportes excecionais.

**Transporte marítimo** – este modo de transporte é principalmente utilizado no transporte internacional de mercadorias, sendo muito comum em Portugal. Devido à localização de Portugal, foi possível criar um razoável número de portos marítimos e, dessa forma, conseguir que muitas das importações e exportações de Portugal, fossem realizadas por via marítima.

Este modo de transporte tem como principal vantagem a elevada capacidade de carga o que possibilita que o seu custo seja mais reduzido. No entanto, o facto de ser muito lento e pouco flexível (necessita de portos marítimos) leva a que muitas empresas acabem por não optar por este modo de transporte.

A crescente diversidade de soluções de transporte levou a que o tempo médio de viagem em importações passasse de 40 dias em 1950 para apenas 10 dias em 1998 a nível global. Hoje em dia as empresas optam muitas vezes por instalar os seus centros de distribuição afastados das zonas metropolitanas pelo facto dos terrenos serem mais baratos ou mesmo instalar as suas fábricas em países com mão-de-obra mais barata de forma a reduzirem os seus custos de produção (Hesse e Rodrigue, 2004).

## 2.2 Problema do caixeiro-viajante

A evolução dos mercados levou a que o transporte de mercadorias aumentasse e dessa forma o número de entregas seguisse o mesmo caminho. Deste modo, tornou-se cada vez mais difícil determinar os caminhos mais curtos e/ou económicos. Isso acabou por gerar situações que são conhecidas/modeladas como um problema do caixeiro-viajante. Este problema tem por objetivo visitar um conjunto de  $n$  cidades apenas uma vez por rota e no final da rota, regressar ao ponto de origem, de forma, a percorrer o caminho mais curto (Hurkens e Woeginger, 2004).

No problema do caixeiro-viajante as cidades/pontos a visitar são representadas(os) num grafo como nós/nodos/vértices e a ligação entre as diferentes cidades/pontos como linhas/arcos/arestas. Para se resolver o problema do caixeiro-viajante é necessário conhecer inicialmente todas as distâncias entre uma cidade/ponto e todas as outras(os). Após a resolução do problema, será determinada a melhor solução que permita visitar todas as cidades/pontos apenas uma vez por rota.

A Ilustração 3 mostra um exemplo do problema do Caixeiro-viajante com 6 vértices e apresenta uma solução (3) formada por um circuito/rota, que passa uma única vez por cada vértice.

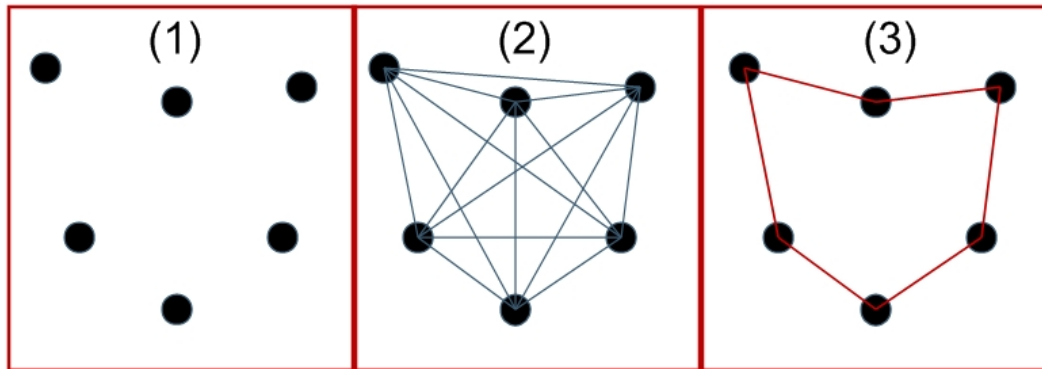


Ilustração 3 – Exemplo de um problema de caixeiro-viajante

### 2.2.1 Heurística do vizinho mais próximo

De forma a encontrar solução para o problema do caixeiro-viajante, foi desenvolvida a heurística do vizinho mais próximo que apesar de geralmente não encontrar a solução ótima (Carvalho, 1998), encontra soluções muito razoáveis, o que acaba por ser sempre um bom ponto de partida. Esta necessita que todas as distâncias entre nós e depósitos sejam conhecidas.

O algoritmo da heurística do vizinho mais próximo é muito simples e rápido (Hurkens e Woeginger, 2004) e segundo Carvalho (1998) o mesmo funciona do seguinte modo:

1. Escolher um nó aleatório para ponto de partida;
2. Enquanto existirem nós não visitados, selecionar o nó mais próximo do último nó visitado e adicioná-lo à rota;
3. Ligar o último nó visitado ao nó inicial.

Este método acabou por sofrer evoluções ao longo do tempo, sendo uma das mais usuais a em que é considerada capacidade, por exemplo, distância ou peso. Nestes casos o algoritmo processa-se de forma idêntica ao referido anteriormente, contudo é realizado o teste de capacidade. Sempre que o algoritmo associa um novo nó à rota é



confirmado se tem capacidade para o associar e ainda assim regressar ao ponto de origem.

### 2.2.2 Análise por clusters

A análise por *clusters*, também conhecida como *clustering*, permite formar subgrupos a partir de um grupo inicial, de forma a facilitar a resolução de um determinado problema (Mourão et al., 2009). Os subgrupos são gerados tendo em conta as suas características, existindo muitas formas de determinar quais esses subgrupos, no entanto, a mais comum acaba por ser determinada pela proximidade/distância entre pontos (Barreto et al., 2007).

A análise por *clusters* pode ser utilizada, por exemplo, para converter um problema de caixeiro-viajante de larga escala em vários problemas mais simples (Ding et al., 2007). Quando existem problemas de caixeiro-viajante com dimensão demasiado elevada ou no caso de ser necessário realizar mais do que uma rota em casos de problemas de caixeiro-viajante com capacidade, torna-se útil recorrer aos *clusters* para realizar uma primeira abordagem. Posteriormente pode-se recorrer a métodos como a heurística do vizinho mais próximo para encontrar uma solução para esse mesmo problema.

Na Ilustração 4 é apresentado um exemplo de um problema de roteamento com 29 vértices onde a aplicação de *clusters* leva à criação de 3 subgrupos, atendendo à proximidade dos vértices.

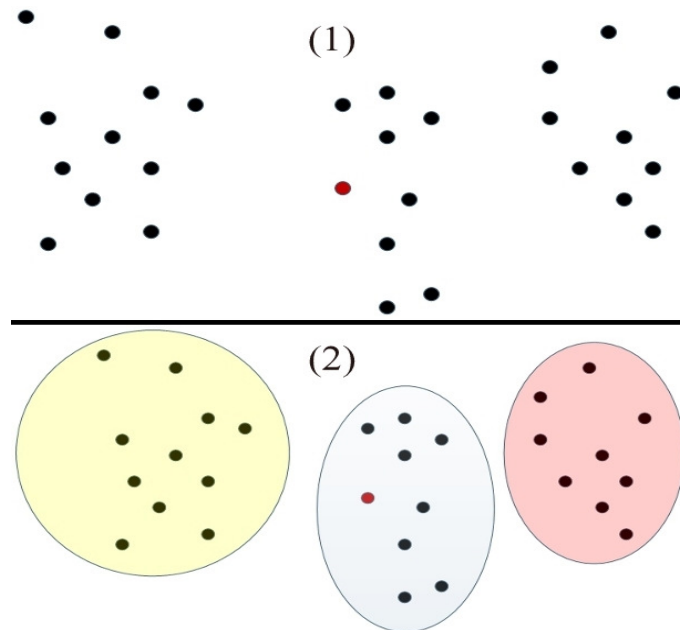


Ilustração 4 – Exemplo de um problema de rotas solucionado através de uma análise por *clusters*

A análise por *clusters* também pode servir (talvez a utilização mais comum) para determinar onde as empresas devem instalar os seus centros de distribuição. Na Ilustração 5 pode-se ver a localização das principais 150 cidades europeias (pontos negros) e assim como uma possível localização dos centros de distribuição (quadrados amarelos) (Barreto et al., 2007).

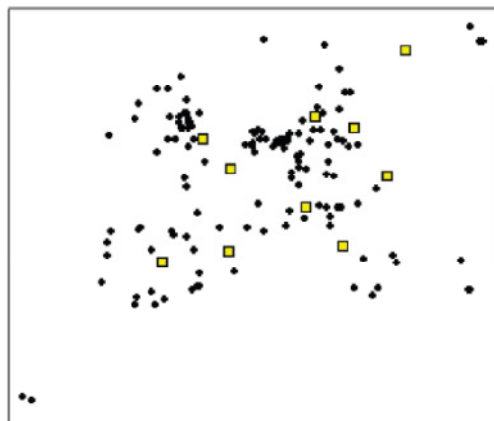


Ilustração 5 - Localização das 150 principais cidades europeias. Retirado de Barreto et al. (2007).

## 2.3 Vehicle Routing Problem

O Problema do Roteamento de Veículos, designado na literatura anglo-saxónica por *Vehicle Routing Problem* (VRP) foi introduzido em 1959 por Dantzig e Ramser, tendo como objetivo determinar as rotas ideais que uma frota de veículos terá de realizar (Bochtis e Sørensen, 2009). No entanto, um problema VRP pode ser descrito como uma generalização do problema do caixeiro-viajante múltiplo, em que neste caso ao invés de se ter apenas um vendedor para efetuar uma rota, têm-se à disposição uma frota de veículos para realizar a(s) mesma(s) (Cordeau et al., 2007).

Segundo Yoshiike e Takefuji (2002:99) “O VRP pode ser definido como um conjunto de  $L$  veículos, com a mesma capacidade  $Q$ , localizados num depósito  $D$ , que deve servir um conjunto de clientes. O cliente  $i$  está localizado em  $X_i$  num mapa bidimensional e possui uma procura  $q_i$ . Cada veículo deve partir de um depósito, visitar um subconjunto de clientes e retornar ao depósito sem violar as restrições de capacidade”. Kang et al. (2008:421) apresentam uma definição mais simples para o mesmo problema: “O propósito do VRP é definir a rota que apresente menor custo (distância, tempo) para uma frota de veículos de capacidade idêntica”.

Em ambas definições apresentadas anteriormente tem-se em conta a capacidade dos veículos. No entanto, os problemas de VRP que têm em conta a capacidade são apresentados na literatura como um problema de *Capacitated VRP* (Mester et al., 2007). A evolução dos problemas de VRP levou a que surgissem várias variantes do problema, tal como se apresenta de seguida (Nagy e Salhi, 2005; Pisinger e Ropke, 2007):

- **CVRP** – *Capacitated Vehicle Routing Problem*;
- **MDVRP** – *Multi-Depot Vehicle Routing Problem*;
- **OVRP** – *Open Vehicle Routing Problem*;
- **SDVRP** – *Site-Dependent Vehicle Routing Problem*;
- **VRPPD** – *Vehicle Routing Problem with Pick-Up and Delivering*;
- **VRPTW** – *Vehicle Routing Problem with Time Windows*.

Muitas vezes os problemas de VRP recorrem a um conjunto de variantes como é o caso do *Rich Pickup and Delivery Problem with Time Windows* (RPDPTW) em que

muitas das variantes apresentadas anteriormente são combinadas num só problema (Pisinger e Ropke, 2007).

### 2.3.1 CVRP – Capacitated Vehicle Routing Problem

O *Capacitated Vehicle Routing Problem* (CVRP) – Problema de Roteamento de Veículos Capacitados, é uma das variantes do VRP. Nos problemas CVRP o objetivo é determinar o menor custo de distribuição perante uma série de clientes na qual se conhece previamente a sua procura. Deve-se ter em conta uma frota de veículos homogêneos com determinada capacidade e custo, tendo essa frota que partir de um determinado depósito e no final da rota regressar ao mesmo (Pisinger e Ropke, 2007; Liu et al., 2009). Na Ilustração 6 é apresentado um exemplo de uma rota definida para um problema com 1 depósito e 25 clientes.

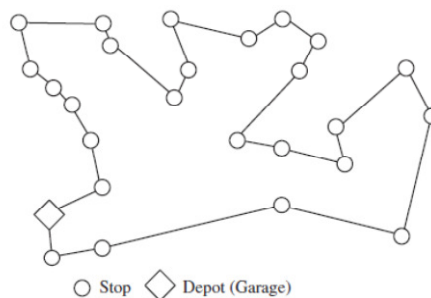


Ilustração 6 - Rota de um veículo definida por um problema CVRP. Retirado de Kim et al. (2006).

Os problemas CVRP têm em conta uma frota ilimitada, sendo que a solução final deve determinar qual a menor distância percorrida pela frota e quantidade mínima de veículos que serão necessários para tal, sem nunca ultrapassar a capacidade dos mesmos (Liu et al., 2009). No entanto, segundo Liu et al. (2009) existem algumas variantes nos problemas CVRP que consideram a possibilidade de existir frotas heterogêneas, onde existem veículos com capacidade e custo diferente.

Uma dessas variantes é a *Fleet Size and Mix Vehicle Routing Problem* (FSMVRP) onde existe uma frota ilimitada de veículos com diferente capacidade e custo. A solução para este problema deve determinar o número mínimo de cada tipo de veículo, assim como a distância mínima efetuada pela frota (Liu et al., 2009).

Outra variante é a *Heterogeneous Vehicle Routing Problem* (HVRP) em que tal como no FSMVRP, podem existir veículos com diferente capacidade e custo. Contudo, no HVRP a frota é limitada, sendo um dos principais objetivos determinar o menor custo tendo em conta os veículos existentes (Liu et al., 2009). Esta variante associa-se mais à realidade das empresas, pois elas não possuem frotas ilimitadas.

### 2.3.2 MDVRP – Multi-Depot Vehicle Routing Problem

O problema *Multi-Depot Vehicle Routing Problem* (MDVRP) – Problema de Roteamento de Veículos com Múltiplos Depósitos, trata-se de uma extensão do CVRP que permite a existência de depósitos múltiplos (Pisinger e Ropke, 2007), também conhecidos como centros de distribuição. Tal como nos problemas CVRP, existe igualmente uma série de clientes que têm que ser visitados por uma frota (ilimitada), no entanto, agora existe a possibilidade dos clientes serem visitados por qualquer um dos depósitos existentes (Nagy e Salhi, 2005; Pisinger e Ropke, 2007).

Antes de se procurar a solução para o problema, deve-se associar previamente os clientes a um determinado centro de distribuição (ou depósito). Contudo, nestes casos existe sempre dificuldade em associar alguns clientes que se encontram numa zona fronteiriça, ou seja, a uma distância idêntica de mais do que um depósito (Nagy e Salhi, 2005).

Posteriormente o problema será tratado como um problema CVRP, mas de forma independente para cada depósito (Nagy e Salhi, 2005; Pisinger e Ropke, 2007), onde os veículos terão que partir de um determinado depósito e no final da rota voltar ao mesmo. Tal como nos problemas CVRP o objetivo é determinar o menor custo de distribuição que tenha em conta a distância percorrida e número de veículos utilizados.

### 2.3.3 OVRP – Open Vehicle Routing Problem

O problema *Open Vehicle Routing Problem* (OVRP) – Problema de Roteamento Aberto de Veículos, é muito semelhante ao CVRP, sendo que neste caso os veículos não têm que regressar ao depósito (Pisinger e Ropke, 2007). Contudo, caso regressem ao

depósito, têm que regressar pela ordem inversa, visitando novamente todos os clientes (Cao e Lai, 2010).

Segundo Cao e Lai (2010:2405) “O OVRP determina rotas eficientes que apresentem um custo mínimo de veículos utilizados e tem por objetivo distribuir bens a uma série de clientes. Cada cliente é visitado apenas uma vez por um veículo, sendo que esse veículo possui restrições de capacidade, distância e tempo percorrido”. O OVRP tem como primeira prioridade diminuir os veículos utilizados e só depois a distância percorrida (Pisinger e Ropke, 2007).

O OVRP tem vindo a receber muita atenção pelos investigadores a partir do ano 2000 (Cao e Lai, 2010), pois trata-se de um problema adequado ao *outsourcing* (3PL), área que tem vindo a aumentar nos últimos tempos. Nestes casos como a frota pertence às empresas 3PL não existe necessidade dos veículos regressarem ao depósito, assim a rota definida deve começar no depósito e terminar num dos clientes.

#### 2.3.4 SDVRP – Site-Dependent Vehicle Routing Problem

O *Site-Dependent Vehicle Routing Problem* (SDVRP) – Problema de Roteamento de Veículos com Restrição de Acesso, trata-se de um problema de *routing* onde os clientes colocam restrições aos veículos (Pisinger e Ropke, 2007).

Estas restrições ocorrem frequentemente, pois nem sempre os clientes a visitar têm condições de acesso/estacionamento que possibilitem a descarga de qualquer tipo de veículo. São conhecidos casos onde é necessário que o transporte seja efetuado, por exemplo, por um camião com compartimento frigorífico ou camião-grua. Assim como situações onde apenas veículos de menor dimensão conseguem aceder ao cliente, pois os acessos não permitem a passagem de camiões *tautliner* (Pisinger e Ropke, 2007).

Como tal, o SDVRP considera a possibilidade de a frota ser heterogénea para permitir fazer face ao problema. Em tudo o resto o problema é semelhante ao CVRP, sendo que tal como no CVRP o objetivo e prioridade é determinar a menor distância percorrida pela frota (Pisinger e Ropke, 2007).

### 2.3.5 VRPPD – Vehicle Routing Problem with Pick-Up and Delivering

O *Vehicle Routing Problem with Pick-Up and Delivering* (VRPPD) – Problema de Roteamento de Veículos com Recolha e Entrega, tem em conta a possibilidade de os clientes solicitarem um determinado número de pedidos de entrega, recolha, ou ambas situações (Pisinger e Ropke, 2007; Bochtis e Sørensen, 2009). No entanto, tal como no CVRP o objetivo passa por encontrar as rotas que percorram a menor distância, de forma, a que todos os clientes sejam servidos (Pisinger e Ropke, 2007).

No VRPPD os clientes devem ser separados como cliente-entrega, cliente-recolha e cliente-entrega-recolha (Ghaziri e Osman, 2003; Ganesh e Narendran, 2007). Estes casos são muito comuns na indústria, pois em várias ocasiões as empresas têm necessidade de recolher bens com defeito e retornar os mesmos ao depósito. Na Ilustração 7 é apresentado um exemplo duma situação onde dois veículos efetuam operações de entrega e recolha.

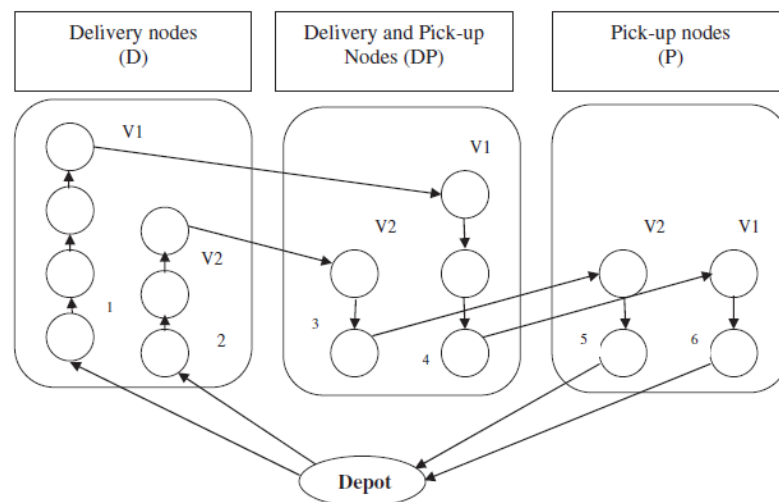


Ilustração 7 - Rota de dois veículos com entrega e recolha. Retirado de Ganesh e Narendran, (2007).

No caso do VRPPD tem-se em conta que as entregas podem ser realizadas em simultâneo com as recolhas, contudo existe o caso do *Vehicle Routing Problem with Backhauls* (VRPB) em que as recolhas apenas podem ser realizadas no fim da rota (Ganesh e Narendran, 2007). O VRPB é muito comum em casos em que o material a

distribuir não permita a recolha de outros materiais antes da descarrega de toda a carga, ou em situações que a capacidade possa ser excedida com as operações de recolha.

### 2.3.6 VRPTW – Vehicle Routing Problem with Time Windows

O *Vehicle Routing Problem with Time Windows* (VRPTW) – Problema de Roteamento de Veículos com Janelas Temporais, a par do CVRP é uma das variantes do VRP mais estudadas pelos investigadores na última década. O VRPTW trata-se de uma extensão do CVRP que considera a existência de janelas temporais (Pisinger e Ropke, 2007; Kang et al., 2008).

As janelas temporais tornam esta variante do VRP muito complexa. O facto de os clientes estipularem um horário de descarga muito apertado leva a que em muitas ocasiões sejam utilizados mais veículos do que inicialmente seria necessário. Apesar de as janelas temporais não serem consideradas nas outras variantes do VRP, não significam que não existam, pois os clientes têm um horário laboral que deverá ser sempre considerado. No entanto, situações como descargas em centros históricos que só permitem descargas até um certo período da manhã levam a que o VRPTW seja considerado como um problema diferente.

Tal como no CVRP o objetivo passa por determinar a menor distância total percorrida e a frota mínima de veículos. Contudo no VRPTW, tal como no OVRP, a primeira prioridade é diminuir a frota utilizada e só depois a distância percorrida (Bouthillier e Crainic, 2005; Pisinger e Ropke, 2007).

O VRPTW pode ser dividido em duas variantes, no *Vehicle Routing Problem with Hard Time Windows* (VRPHTW) e no *Vehicle Routing Problem with Soft Time Windows* (VRPSTW). O VRPHTW tem em conta que o horário de descarga tem que ser cumprido obrigatoriamente, já o VRPSTW permite que esse horário não seja cumprido, incorrendo em penalizações caso isso aconteça (Kang et al., 2008).

O VRPSTW assemelha-se mais ao dia-a-dia das empresas, pois nem sempre é possível cumprir o horário requerido, seja devido ao tráfego, avarias, ausência de motoristas ou outras situações que ocorrem no dia-a-dia (Kang et al., 2008). A aplicação



de penalizações apenas ocorrerá se o veículo chegar após a hora estipulada, porque no caso de chegar mais cedo, apenas terá que esperar pela hora de descarga (Bouthillier e Crainic, 2005).

## 2.4 Team Orienteering Problem

O Problema de Orientação em Equipa designado na literatura por *Team Orienteering Problem* (TOP) começou a ser abordado pela primeira vez em 1994 por Cavalier segundo o nome *Multiple Tour Maximum Collection Problem*, sendo que a definição de TOP apenas viria a ser introduzida em 1996 por Chao et al. (Boussier et al., 2007). No entanto, apenas em 2005 é que Feillet et al. viria a associar o TOP ao problema do caixeiro-viajante (Bouly et al., 2010). Inicialmente o TOP sempre fora associado ao desporto: orientação em equipa, geralmente praticado em montanhas ou áreas florestais. Neste desporto é considerado vencedor a equipa que conseguir obter maior lucro, num determinado tempo limite, através da visita de certos pontos pré-definidos, onde cada ponto terá um determinado lucro associado (Archetti et al., 2007; Bouly et al., 2010).

O TOP trata-se de uma extensão do Problema de Orientação, conhecido como *Orienteering Problem* (OP) para os casos onde existem múltiplas rotas (Archetti et al., 2007; Bouly et al., 2010).

O TOP pode ser descrito como um grafo  $G = (V_i, A_{ij})$  onde  $V_i = \{1, 2, \dots, n\}$  representa o conjunto de vértices, sendo que cada vértice tem atribuído um lucro não negativo. O vértice  $i = 1$  representa o centro de distribuição e como tal será o ponto inicial e final de todas as rotas, todos os restantes vértices  $i = n$  representam os possíveis clientes a visitar. A cada aresta  $A_{ij}$  está atribuída uma distância que representa o tempo de viagem do cliente  $i$  ao cliente  $j$  (Archetti et al., 2007; Boussier et al., 2007; Li et al., 2010). A função objetivo passa por maximizar o lucro total encontrando uma rota que inicie e termine no mesmo vértice, tendo em conta um limite temporal (Li et al., 2010).

Já Labadie et al. (2011) apresenta uma definição mais simples. Segundo este o OP consiste em encontrar um caminho elementar através de um conjunto de vértices,

onde cada vértice possui um lucro associado que é recolhido na primeira visita. O objetivo passa por maximizar o lucro tendo em conta o limite temporal.

Apesar de o TOP ter como base o problema do caixeiro-viajante ou o VRP, destaca-se destes pelo facto de não ser obrigatório visitar todos os clientes (Boussier et al., 2007) e por este motivo, o OP também pode ser conhecido como *Selective Traveling Salesman Problem* (Souffriau et al., 2008; Schilde et al., 2009). Tal como acontece no VRP onde existem várias variantes do problema como o CVRP, VRPTW, entre outros, também o TOP está sujeito a este tipo de variantes (Tang e Wang, 2006; Labadie et al., 2011).

Na Ilustração 8 é apresentado um exemplo de um TOP onde existem 8 possíveis clientes a visitar (representadas por círculos). As rotas deverão iniciar e terminar no centro de distribuição (representado por um quadrado) e apenas se poderá realizar um máximo de 2 rotas com um limite temporal de 70 minutos por rota. Como se pode verificar pela Ilustração 8 existem duas possíveis soluções em que se encontra o mesmo resultado.

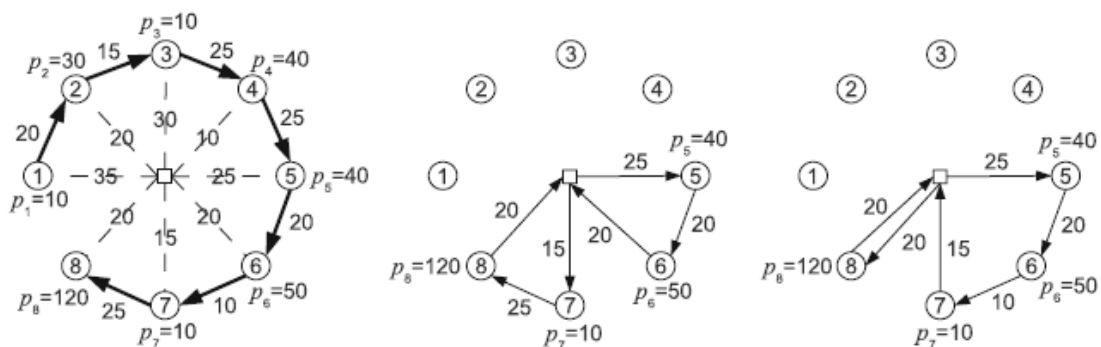


Ilustração 8 – Exemplo de um TOP para 8 possíveis clientes. Retirado de Bouly et al. (2010).

No mundo real é cada vez mais frequente encontrar problemas que se inserem na tipologia do TOP, ao invés do VRP. Tendo em conta que as empresas hoje em dia tendem a baixar a margem dos seus produtos/serviços devido à forte concorrência que existe no mercado, torna-se imperativo que se saiba identificar quais os clientes a «visitar» numa determinada rota (Chen e Har-Peled, 2010).

São várias as situações em que existem clientes que estipulam um prazo de entrega, como por exemplo 3 dias, nestes casos deve-se estipular as rotas de forma que

as mesmas apresentem o maior lucro possível (Li et al., 2010). Nestas situações todos os clientes deverão entrar num planeamento inicial, associando a cada cliente um grau de prioridade. Nos casos em que a visita do cliente não seja prioritária pode-se excluir esse cliente das rotas desse dia se o mesmo não representar lucro para a empresa (Archetti et al., 2007).

## 3 Estudo de caso

Neste capítulo é feita uma breve apresentação da Tecniwood-Soluções, sobre a sua história, quais os produtos que comercializa, a tipologia dos seus clientes e sobre o funcionamento da sua cadeia de abastecimento. Também se encontra presente uma apresentação do seu sistema logístico, mais concretamente, no que diz respeito aos centros de distribuição, frota e funcionamento do seu planeamento de rotas/cargas.

### 3.1 Apresentação da Tecniwood-Soluções

A empresa Tecniwood-Soluções – Madeiras e Derivados, Lda., anteriormente designada de Damadeira - Madeiras e Derivados, Lda., é uma empresa constituinte do grupo Tecniwood-Madeicávado – Madeiras, SA, sendo que esta remonta ao ano de 1985, altura em que era fundada a Madeicávado – Madeiras, SA.

A Madeicávado iniciou a sua atividade como um pequeno retalhista, contando com umas instalações modestas, vindo mais tarde com o aumento do volume de vendas a mudar-se para as atuais instalações de Braga, passando estas a ser a sua sede. Já em 2010 a empresa muda a sua designação social para Tecniwood-Soluções – Madeiras e Derivados, Lda..

A Tecniwood-Soluções trata-se de uma empresa que se encontra ligada ao ramo da construção civil, dedicando-se à distribuição de madeiras e seus derivados para os setores do mobiliário, carpintaria, construção civil, arquitetura e decoração. Como se

pode ver pela Ilustração 9 a Tecniwood-Soluções conta ainda com duas unidades de negócio, sendo elas a Tecniwood-Indústria que se dedica à transformação de derivados de madeira e a Tecniwood-Pavimentos que se dedica ao aconselhamento e fornecimento de soluções para pavimentos.



Ilustração 9 - Representação das áreas de negócio do grupo Tecniwood-Madeicávado

A Tecniwood-Soluções é uma empresa portuguesa que incide as suas vendas a nível nacional. Com o aumento das vendas a empresa decidiu expandir o seu mercado para todo o país procurando ganhar a sua posição como um dos principais grossistas de madeira e seus derivados, contando para isso com uma equipa de comerciais que cobrem todo o Portugal Continental. Essa meta acabou por ser atingida, no entanto continua a ser a norte do país que a Tecniwood-Soluções possui maior força/presença.

Atualmente a Tecniwood-Soluções conta com centros de distribuição em Braga, Póvoa do Varzim e Leiria, estando os mesmos representados na Ilustração 10. Sendo através destes que a empresa assegura o armazenamento e distribuição para todos os seus clientes.



Ilustração 10 - Mapa com os centros de distribuição da Tecniwood-Soluções. Adaptado de Tecniwood-Madeicávado – Madeiras, SA (2011).

### 3.1.1 Produtos comercializados

A Tecniwood-Soluções comercializa e distribui uma enorme variedade de produtos que vão desde a madeira maciça, folha de madeira, derivados de madeira a todos os tipos de componentes presentes em carpintaria. A empresa conta com um portfólio de artigos superior a 8000 referências dos mais variados fornecedores, sendo que grande parte se encontra constantemente em inventário. Na Ilustração 11 encontram-se representados alguns dos seus principais fornecedores.



Ilustração 11 - Principais fornecedores da Tecniwood-Soluções. Retirado de Tecniwood-Soluções – Madeiras e Derivados, Lda. (2012).

Entre os diversos materiais comercializados e distribuídos pela Tecniwood-Soluções existe uma enorme variedade na tipologia dos mesmos, sendo que por esse motivo tanto a nível de armazenamento como de distribuição acabam por causar algum transtorno. Apesar de todos os materiais serem diferentes pode-se enquadrar os mesmos na seguinte tipologia:

- Placas (derivados de madeira);
- Madeira maciça;
- Pavimentos (derivados ou maciços);
- Componentes;
- Portas (cozinha ou interior).

As placas de derivados de madeira são o principal material distribuído pela Tecniwood-Soluções, sendo que estes são responsáveis por ocupar cerca de 95% da capacidade de carga dos camiões. Este tipo de material possui densidade e dimensões elevadas o que implica que o material seja carregado de forma sobreposta, tal como se pode ver pela Ilustração 12. A medida mais comum é de  $2750 * 1830\text{ mm}$  (comprimento\*largura), contudo também é comum serem transportadas placas de  $2850 * 2100\text{ mm}$  ou mesmo  $3750 * 2500\text{ mm}$ .



Ilustração 12 - Representação da forma de acondicionamento das placas

A madeira maciça, dependendo da quantidade transportada, pode implicar muitas ou poucas restrições a uma carga. A madeira maciça é um produto natural e como tal, não possui medidas *standard* o que pode representar que algum do material transportado possua comprimentos muito variáveis, chegando por vezes a alcançar os  $13,5\text{ m}$ . Também este material possui geralmente uma densidade elevada (dependendo da espécie), sendo que quando se tratam de encomendas grandes, implica que a mesma

seja transportada num camião-grua no caso de o cliente não possuir condições de descarga. Na Ilustração 13 estão representados alguns exemplos da forma de acondicionamento da madeira maciça.



Ilustração 13 - Representação da forma de acondicionamento da madeira maciça

Os pavimentos são geralmente transportados em lotes ou euro-paletes (medida *standard* de 1200 \* 800 mm) e por norma é possível que sejam carregadas sem condicionar o espaço de carga no camião. Quando se tratam de pavimentos derivados, a sua medida é *standard* e a sua densidade baixa, mas quando se tratam de pavimentos maciços poder-se-á estar a falar de pavimentos de densidade variável (dependendo da espécie de árvore que lhe dá origem) e de comprimentos variáveis. Na Ilustração 14 são apresentados alguns exemplos de pavimentos derivados e maciços, assim como a forma de acondicionamento dos mesmos.



Ilustração 14 - Representação da forma de acondicionamento dos pavimentos

No caso dos componentes e portas de cozinha ou interior, estes raramente influenciam a forma de carregamento de um camião, pois geralmente tratam-se de artigos de menores dimensões que por norma podem ser carregados em euro-paletes. Os componentes são no geral artigos de pequenas dimensões como por exemplo ferragens, orlas, perfis, entre outros. Já as portas de cozinha ou interior, apesar de possuírem



dimensões maiores, por norma podem ser carregados igualmente em euro-paletes. Na Ilustração 15 são apresentados alguns exemplos de portas de cozinha e interior, assim como de alguns componentes.



Ilustração 15 - Representação da forma de acondicionamento das portas e componentes

### 3.1.2 Tipologia dos clientes

Ao longo dos anos a Tecniwood-Soluções tem vindo a aumentar a sua carteira de clientes a nível nacional e como tal também as áreas de atuação da empresa têm vindo a crescer. Por esse motivo a Tecniwood-Soluções conta já com uma carteira de clientes superior a 5000, sendo que na sua maioria os clientes da Tecniwood-Soluções são carpintarias, empresas de construção civil e retalhistas.

Embora a Tecniwood-Soluções assegure o serviço de distribuição em todo o território nacional, a maior parte dos seus clientes encontram-se sediados no norte do país, em especial no distrito de Braga e Porto. Já a sul os seus principais clientes encontram-se presentes no distrito de Leiria e Lisboa.

A tipologia de clientes da Tecniwood-Soluções condiciona a distribuição, pois nem todos os seus clientes possuem boas condições de descarga. No geral as empresas de construção civil possuem boas condições devido à sua dimensão e nesses casos quase todos possuem máquinas para auxiliar no processo de descarga, tornando o processo mais rápido. Já no caso das carpintarias são poucos os casos em que os mesmos possuem máquinas para auxiliar à descarga, sendo todo o processo manual e por esse motivo a descarga torna-se muito mais demorada.

Na Ilustração 16 estão representadas as instalações da Tecniwood-Indústria, sendo estas idênticas às de um cliente com boas condições de descarga. No entanto, o mais comum nos clientes da Tecniwood-Soluções é não possuírem condições de

descarga como a Tecniwood-Indústria. Estes geralmente situam-se em garagens ou pequenos armazéns de difícil acesso e por esse motivo apenas é possível aceder a uma oficina de carpintaria recorrendo a camiões de menores dimensões o que acaba por tornar um impedimento ao planeamento de rotas.



Ilustração 16 - Instalações da Tecniwood-Indústria

### 3.1.3 Cadeia de abastecimento

Tendo em conta que a Tecniwood-Soluções se trata de um grossista, esta acaba por ser apenas um intermediário entre as grandes fábricas e os seus clientes. Na Ilustração 17 é apresentado um esquema onde são demonstradas as ações realizadas pela Tecniwood-Soluções enquanto grossista. A empresa inicia o processo adquirindo vários produtos aos seus fornecedores, sendo que estes posteriormente são armazenados nos centros de distribuição existentes e numa última fase distribuídos pelos seus clientes.

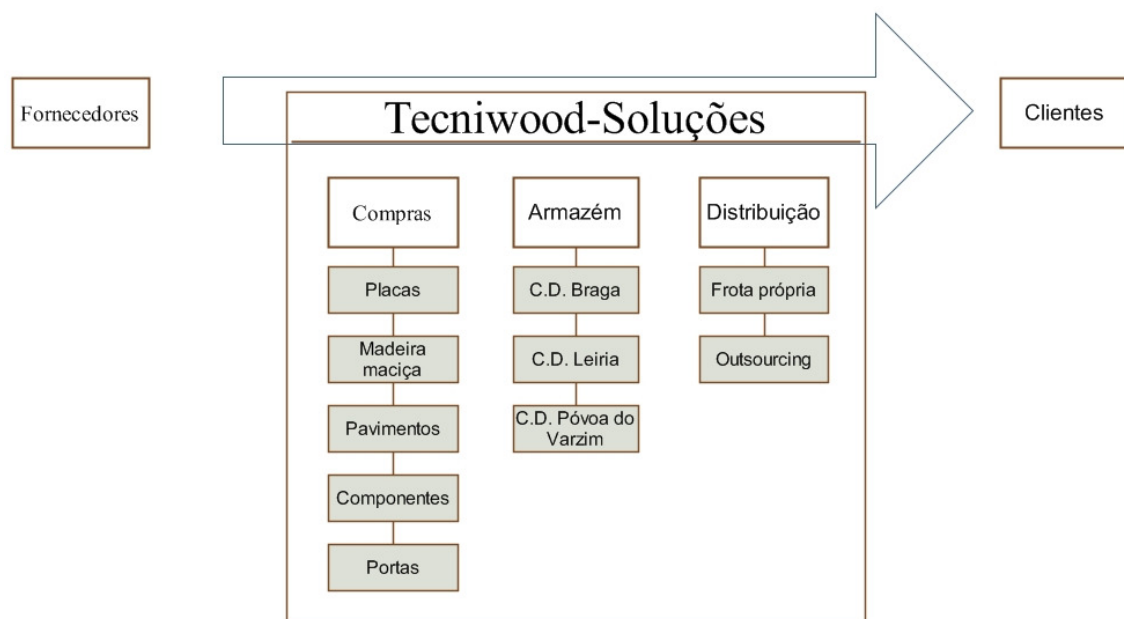


Ilustração 17 - Representação da cadeia de abastecimento da Tecniwood-Soluções

Como é possível constatar pela Ilustração 17 também se pode referir que a Tecniwood-soluções pode na prática também ser considerada uma empresa de logística, pois na verdade grande parte das suas funções passa por realizar atividades logísticas, tais como: *procurement*, armazenamento, gestão de inventário, movimentação de materiais, serviço ao cliente e distribuição.

**Procurement** – a atividade da Tecniwood-Soluções inicia quando esta efetua as aquisições aos seus fornecedores. O departamento de compras é responsável por definir rotinas de compras, criar parcerias estratégicas, acordar preços, definir quais os artigos estratégicos, assim como as condições de trabalho com os seus fornecedores. Na Ilustração 18 são apresentados alguns dos catálogos utilizados pelo departamento de compras para efetuar aquisições aos seus fornecedores, assim como um *screenshot* do menu “Compras” do ERP “Microsoft Dynamics NAV”.

O departamento das compras da Tecniwood-Soluções encontra-se centralizado no centro de distribuição de Braga e atualmente procura uma filosofia *just in time*. Apesar de não ser das empresas mais fáceis de aplicar esta medida, devido à incerteza da procura, torna-se necessário pois os custos de inventário são demasiado elevados.

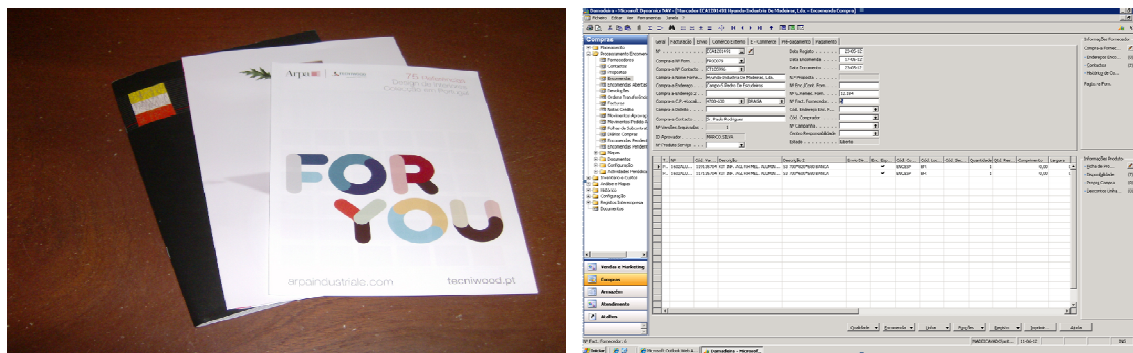


Ilustração 18 - Representação de catálogos utilizados pelo departamento de compras mais *screenshot* do menu “Compras”

**Armazenamento** – após os produtos serem adquiridos são armazenados nos centros de distribuição que a Tecniwood-Soluções tem ao seu dispor. Na Ilustração 19 encontra-se representado o centro de distribuição de Braga que possui uma área de cerca de  $10000\text{ m}^2$ , sendo que este se encontra dividido em 3 armazéns mais um parque exterior. O armazém representado a cor verde trata-se do armazém de “Atendimento ao

Cliente”, sendo que neste armazém todos os produtos se encontram dispostos em prateleiras para um acesso e visualização mais rápida. O armazém representado a azul trata-se do armazém de “Distribuição”, neste os materiais são armazenados tal como vêm dos fornecedores, servindo para reabastecer posteriormente o armazém de “Atendimento ao Cliente”. O armazém representado a vermelho encontra-se associado à Tecniwood-Indústria e aos escritórios reservados ao departamento administrativo, sendo que a restante área disponível faz parte do parque exterior.

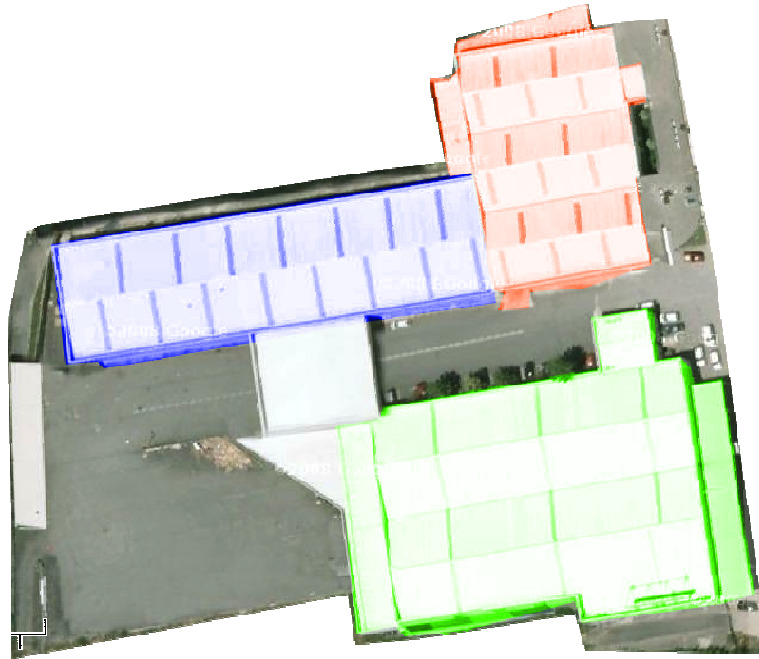


Ilustração 19 - Centro de distribuição de Braga visto de topo

**Movimentação de materiais** – a movimentação de materiais na Tecniwood-Soluções é muito comum, seja para efetuar operações de descarga, conferência, acondicionamento, reposição de inventário ou *picking*. Estas operações são todas realizadas por uma frota de empilhadores, sendo que atualmente a Tecniwood-Soluções conta com 2 empilhadores a gasóleo e 3 empilhadores elétricos, estando os mesmos representados na Ilustração 20.



Ilustração 20 - Frota de empilhadores presentes no centro de distribuição de Braga

A movimentação de materiais também ocorre entre armazéns, seja no caso em que Braga abastece Leiria ou no caso em que a Póvoa do Varzim abastece Braga. Neste último devido à folha de madeira se encontrar presente no centro de distribuição da Póvoa do Varzim, todos os dias um camião termina a sua rota nesse armazém de forma a carregar uma carga de retorno para Braga com esses materiais. Já no caso de Leiria, como o centro de distribuição de Braga é a sede da empresa, muitos fornecedores apenas entregam os seus produtos neste armazém, dessa forma, semanalmente a Tecniwood-Soluções realiza uma carga de transferências internas recorrendo ao *outsourcing*.

**Gestão de inventários** – grande parte do processo de gestão de inventários da Tecniwood-Soluções é realizada com recurso ao ERP “Microsoft Dynamics NAV”, sendo que a maior parte das funções ligadas à gestão de inventários é efetuada pelo departamento de compras. A gestão do inventário começa desde logo pela codificação dos artigos comercializados e pela correta identificação dos mesmos em armazém como é possível verificar pela Ilustração 21. Na receção dos artigos é realizada a conferência de forma a verificar se as características e quantidades rececionadas estão conformes e posteriormente são identificados com a codificação da Tecniwood-Soluções.

Como é normal apesar de todas as entradas e saídas dos materiais estar registada no ERP, continuam a existir erros de inventário, pois uma má introdução dos dados ou um pequeno erro no *picking* levará a um erro de inventário. Por esse motivo diariamente é preciso ir verificando e acertando os erros através da contagem física dos materiais.



Como complemento, anualmente é realizado um inventário exaustivo de forma a corrigir todos os pequenos erros que vão ocorrendo ao longo do ano.

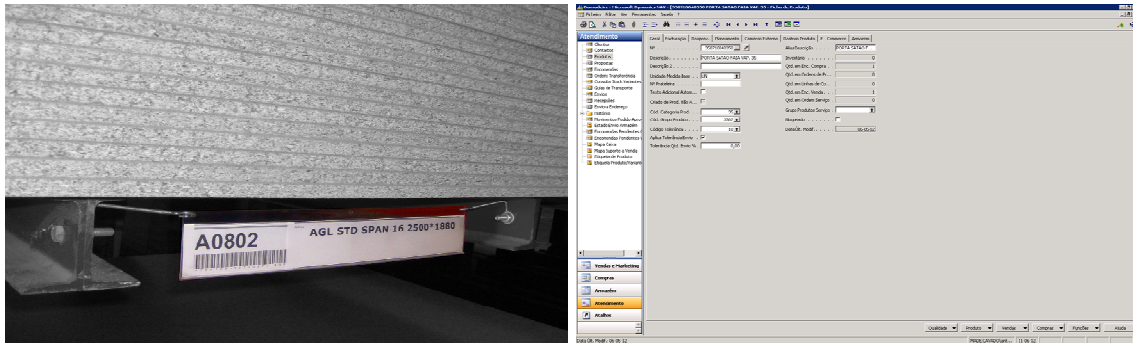


Ilustração 21 - Representação das etiquetas utilizadas pela Tecniwood-Soluções em armazém mais *screenshot* do menu “Produtos”

**Serviço ao cliente** – a Tecniwood-Soluções procura assegurar um serviço de excelência aos seus clientes, recorrendo para isso a uma vasta equipa de comerciais e assistência de vendas. Cada comercial possui um assistente de vendas associado e por sua vez cada cliente tem sempre um comercial e respetivo assistente de vendas alocado. Desta forma o cliente consegue uma relação fornecedor-cliente mais humanizada, sendo mais fácil para um cliente ser servido sempre pelas mesmas pessoas. Na Ilustração 22 encontra-se representado o balcão de atendimento ao cliente e sala de assistência de vendas do centro de distribuição de Braga da Tecniwood-Soluções.



Ilustração 22 - Representação do balcão de atendimento mais sala de assistência de vendas do centro de distribuição de Braga

**Distribuição** – a Tecniwood-Soluções realiza a distribuição recorrendo essencialmente a frota própria. No entanto, é também frequente recorrer ao *outsourcing* em alturas onde exista um pico de procura ou em casos em que seja mais vantajoso para a empresa como é o caso de distribuição em zonas longínquas.

Diariamente é realizado um planeamento de rotas/cargas de forma a otimizar as mesmas, tendo como objetivo assegurar a distribuição de uma forma eficiente. A Tecniwood-Soluções procura assegurar a entrega em 24h ou no limite em 48h no caso das zonas geográficas onde se encontra presente. Existe depois a exceção das zonas onde o volume de vendas é inferior, nestes casos a empresa estipula um a dois dias por semana de visita garantida. Na Ilustração 23 encontram-se representados *screenshots* do menu “Envios” mais Google Maps aos quais se recorre durante o ato de planeamento de rotas.

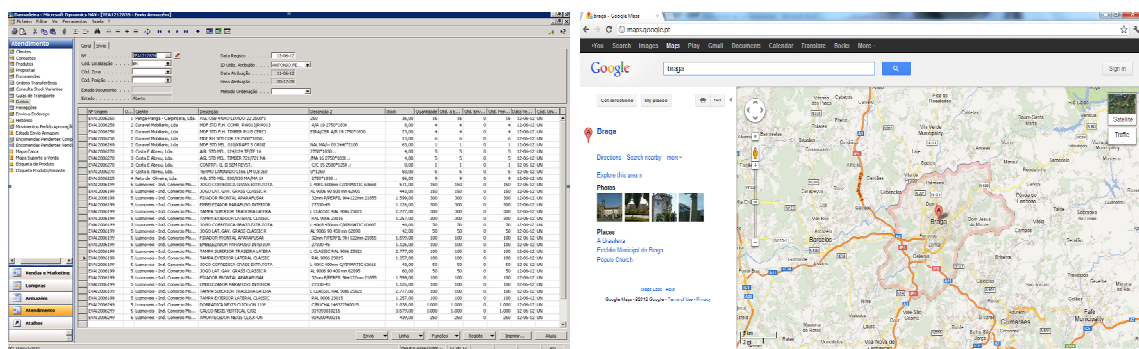


Ilustração 23 - Screenshot do menu "Envios" e Google Maps

## 3.2 Sistema logístico da Tecniwood-Soluções

Neste subcapítulo é feita uma breve apresentação do sistema logístico da Tecniwood-Soluções, mais concretamente dos seus centros de distribuição e frota.

### 3.2.1 Centros de distribuição

A Tecniwood-Soluções ao longo da sua história tem vindo a alterar a localização dos seus centros de distribuição. Sendo que já marcou presença, ou continua a marcar presença em cidades como: Braga, Póvoa do Varzim, Viana do Castelo, Alenquer,

Pombal, Seixal, Leiria e Paços de Ferreira. No entanto, alguns desses centros de distribuição acabaram por não estar muito tempo ativos.

A política de distribuição da Tecniwood-Soluções foi-se alterando ao longo dos tempos, sendo que atualmente a regra passa por centralizar as operações no menor número de centros de distribuição. Esta medida foi tomada não só pela redução de custos, mas também pela necessidade de aumentar a eficiência. Sendo assim pode-se apontar dois momentos na história da distribuição da Tecniwood-Soluções, um antes da centralização e um após o processo de centralização.

Numa primeira fase, face ao aumento do volume de vendas, a Tecniwood-Soluções que já contava com o centro de distribuição de Braga decidiu adquirir armazéns em Viana do Castelo, Póvoa do Varzim e um armazém em Alenquer para fazer face às vendas a sul e centro do país. Como se pode verificar pela Ilustração 24 o armazém de Viana do Castelo tinha como objetivo servir o distrito de Viana do Castelo (representado a azul), o de Alenquer tinha como propósito as vendas a Sul e centro do país (representado a cinzento). Já os armazéns de Braga e Póvoa do Varzim distribuía ambos nos mesmos distritos (representados a verde), sendo que o armazém da Póvoa do Varzim tinha como principal atividade o comércio de madeira maciça e o centro de distribuição de Braga tinha como objetivo a distribuição de derivados de madeira.

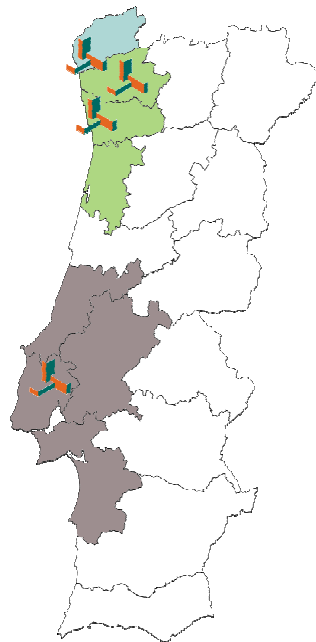


Ilustração 24 - Representação de 4 CD da Tecniwood-Soluções e respetiva zona de distribuição



Como se pode verificar pela Ilustração 24 a Tecniwood-Soluções apesar de na altura possuir quatro centros de distribuição não cobria todo o território nacional, pois o facto de as rotas de distribuição contarem com vários clientes impossibilita que as rotas ultrapassem um determinado número de quilómetros.

Mais tarde com a política de centralização a Tecniwood-Soluções viria a centralizar a sua distribuição em apenas dois centros de distribuição: Braga e Leiria. O armazém da Póvoa de Varzim apesar de ainda estar no ativo, já não realiza distribuição, contando apenas com o armazenamento de folha de madeira e madeira maciça. Desta forma toda a distribuição a norte está centrada no armazém de Braga e a distribuição a centro e sul encontra-se sobre a alçada do centro de distribuição de Leiria.

Na Ilustração 25 é possível verificar quais as respetivas áreas de distribuição associadas a cada centro de distribuição. A Ilustração 25 contém dois mapas, no primeiro estão representadas as áreas associadas a cada armazém, sendo que os distritos representados a verde estão associados ao centro de distribuição de Braga e os representados a cinzento estão sob a responsabilidade do armazém de Leiria. Já a cor de laranja estão representados os distritos que poderão ser abastecidos por ambos armazéns.

No segundo mapa da Ilustração 25 estão representados os distritos que são abastecidos pela frota da Tecniwood-Soluções e os que são abastecidos recorrendo ao *outsourcing*. Tal como no primeiro mapa a verde estão representados os distritos onde o armazém de Braga distribui, a cinzento onde o armazém de Leiria distribui e a cor de laranja onde ambos poderão distribuir. No entanto, neste caso os distritos representados a branco são os distritos onde a Tecniwood dá preferência ao *outsourcing*, devido à distância desses mesmos locais.

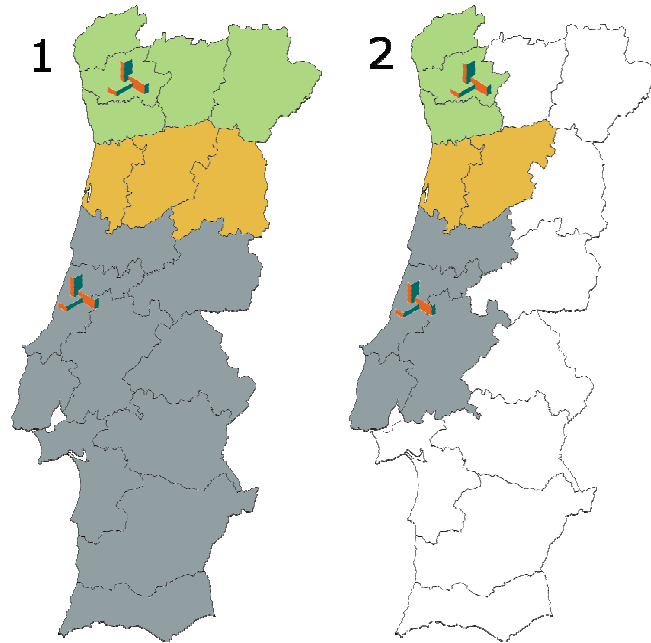


Ilustração 25 - Representação das zonas de distribuição associadas a cada centro de distribuição

Tendo em conta que o armazém de Leiria se encontra distante de áreas geográficas como Lisboa e ainda mais de áreas como o Alentejo ou Algarve a Tecniwood-Soluções optou por recorrer totalmente ao *outsourcing* na distribuição destas zonas. Para isso a Tecniwood-Soluções realizou uma parceria com um transportador para a distribuição das mesmas. Desta forma todos os dias o transportador recolhe o material a distribuir no centro de distribuição de Leiria, transportando-o de seguida para as suas instalações em Lisboa, onde procede ao *cross-docking* do material para as suas viaturas.






Neste trabalho apenas se irá fazer referência ao centro de distribuição de Braga, pois trata-se do centro de distribuição com maior volume de vendas. O Armazém de Braga abastece diariamente, em média, cerca de 80 clientes o que representa um volume de 50 t a 60 t diárias.

### 3.2.2 Frota

Devido ao elevado peso da mercadoria transportada, a Tecniwood-Soluções recorre apenas a viaturas pesadas de mercadorias na distribuição dos seus materiais,

sendo que no centro de distribuição de Braga encontram-se disponíveis 7 viaturas com diferentes características, estando as mesmas representadas na Tabela 2. Nesta tabela encontra-se representado a quantidade existente de cada modelo, uma ilustração da viatura, marca, modelo e ano de aquisição, capacidade e volume de carga, dimensões e características das viaturas. No que diz respeito às viaturas de caixa aberta, o volume de carga tem em conta um limite máximo de 4 *m* de altura, imposto pela legislação rodoviária.

Tabela 2 - Características da frota da Tecniwood-Soluções presente no centro de distribuição de Braga

Qtd.	Viatura	Marca	Modelo	Ano	Capacidade de carga	Volume	Dimensão Caixa	Observações
1		Scania	94G 260	2003	11150 (kg)	42,77 (m <sup>3</sup> )	6,6*2,4   0,5 (m)	Aberto   Taipais   Transporte especial até 25*3*4,5 (m)
1		Scania	94G 220	2000	8320 (kg)	43,66 (m <sup>3</sup> )	6,6*2,45 (m)	Aberto   Grua   Transporte especial até 25*3*4,5 (m)
2		Mitsubishi	Canter	2007	3660 (kg)	31,37 (m <sup>3</sup> )	5,1*2,05   0,46 (m)	Aberto   Taipais
2		Mitsubishi	Canter	2007	3660 (kg)	32,59 (m <sup>3</sup> )	5,1*2,13   0,46 (m)	Aberto   Taipais
1		Toyota	Dyna	2004	3620 (kg)	23,99 (m <sup>3</sup> )	6*2,05*1,95 (m)	Fechado   Cortinas

Como é possível verificar pela Tabela 2 no centro de distribuição de Braga estão presentes 2 camiões Scania com um peso bruto de 19000 *kg* e mais 5 viaturas de 7500 *kg* de peso bruto das marcas Mitsubishi e Toyota, sendo as suas características enunciadas de seguida.

- **Scania 96G 260** – este é o camião com maior capacidade de carga presente no centro de distribuição de Braga, podendo carregar até 11150 *kg* e/ou 42,77 *m*<sup>3</sup>. Trata-se de uma viatura de caixa aberta com taipais, tendo a caixa 6,6 \* 2,4 *m* (comprimento\*largura) com taipas de 0,5 *m* de altura. Este camião possui licença especial de transporte de peças únicas até 25 \* 3,5 \* 4,6 *m* (comprimento\*largura\*altura).
- **Scania 96G 220** – este é o segundo camião com maior capacidade de carga presente no armazém de Braga, podendo carregar até 8320 *kg* e/ou 43,66 *m*<sup>3</sup>. Esta trata-se de uma viatura de caixa aberta sem taipais com uma dimensão de 6,6 \* 2,45 *m*. Possui igualmente licença especial de transporte de peças únicas até 25 \* 3,5 \* 4,6 *m*, sendo que este camião possui grua. Pelo facto de possuir grua e não ter taipais, acaba por ser esta viatura a realizar praticamente todos os serviços de transporte especial.
- **Mitsubishi Canter** – existem 4 viaturas Mitsubishi Canter presentes no centro de distribuição de Braga com 3660 *kg* de capacidade de carga, sendo que entre elas apenas difere a dimensão da caixa. Todas possuem caixa aberta com taipais de 0,46 *m* de altura, mas destas viaturas 2 possuem uma caixa com 5,1 \* 2,05 *m* e consequentemente um volume de carga de 31,37 *m*<sup>3</sup>, sendo que as restantes 2 viaturas possuem uma caixa de 5,1 \* 2,13 *m* e por sua vez um volume de carga de 32,59 *m*<sup>3</sup>. O motivo pelo qual existem duas viaturas com uma caixa mais estreita deve-se ao facto de apenas ser possível entrar nas instalações de alguns clientes com estes veículos. As restantes são muito úteis para os casos em que se transportam placas com 2,1 *m* de largura.
- **Toyota Dyna** – este trata-se do único camião da Tecniwood-Soluções que possui caixa fechada com cortinas. Este camião pode transportar até

3620 kg e/ou 23,99 m<sup>3</sup>, estando equipado com uma caixa de 6 \* 2,05 \* 1,95 m. Este camião é ideal para o tempo de chuva ou para transportar materiais que não podem estar sujeitos às diferentes condições climáticas, pois perde-se menos tempo a proteger o material transportado. Contudo quando se trata de distribuir em alturas em que o tempo está seco, acaba por não ser tão útil pois o processo de carga/descarga torna-se mais demorado pois é necessário perder muito tempo a abrir e fechar as cortinas.

### 3.3 Planeamento de rotas na Tecniwood-Soluções

A atividade de planeamento de rotas/cargas na Tecniwood-Soluções apenas começou a ser efetuada há cerca de 5 anos, sendo que anteriormente todo o processo era realizado de forma manual. Antes do planeamento todas as encomendas eram impressas e entregues ao encarregado de armazém que tinha como responsabilidade efetuar as rotas/cargas. O facto de o processo ser manual limitou durante muitos anos o desenvolvimento da empresa, pois mesmo que empresa quisesse apostar em novas áreas geográficas, esse objetivo não seria acompanhado pela distribuição. O encarregado tinha ao seu cuidado um grande conjunto de funções, por isso, não podia perder demasiado tempo com esta função.

Também era frequente que as rotas estivessem constantemente a ser alteradas, pois como as encomendas impressas não tinham informação relativa aos pesos dos materiais, levava a que se criassem cargas com excesso de capacidade que mais tarde teriam que ser refeitas. A par disto também era frequente «perder» algumas encomendas, pois pelo facto de elas estarem em papel, muitas vezes ficavam esquecidas em algum lugar o que acabava sempre por prejudicar o serviço ao cliente.

Mais tarde com a mudança de ERP para um que permitisse desenvolver mapas de *picking* e lançar no sistema informático o peso dos materiais, deu-se início à função de planeamento de rotas/cargas. Este é realizado diariamente após a hora limite de aceitação de encomendas. Após essa hora é realizado um filtro a todas encomendas de vendas pendentes para distribuição com entrega prevista para o dia seguinte, sendo que é com base nesses dados que é processado o planeamento de rotas/cargas.

O planeamento das rotas na Tecniwood-Soluções tem em conta uma série de restrições, muito próprias do material transportado, entre essas restrições apresentam-se as mais comuns:

- **Capacidade de carga dos veículos** – como o material transportado é muito pesado, não se consegue transportar muito volume por camião;
- **Volume dos veículos** – apesar de não ser a restrição mais usual, existem situações em que não é possível transportar a capacidade de carga total, como é o caso do transporte de painéis de espuma cuja densidade do material é muito baixa;
- **Horário de condução dos motoristas** – a legislação europeia impõe um período de condução muito limitado com pausas obrigatórias. Tendo em conta estas imposições, é comum definir uma rota que não vá na sua capacidade total, de forma a conseguir respeitar esta restrição;
- **Janelas temporais por parte dos clientes** – os clientes, habitualmente impõem limitações ao horário de descarga, como por exemplo, entregas realizadas até um certo período da manhã;
- **Dimensão dos materiais** – existem vários materiais com dimensões elevadas que impedem a utilização de certos veículos. Contudo, existem várias situações em que devido à dimensão ou formato do material, leva a que uma rota tenha obrigatoriamente que iniciar a descarga num determinado local;
- **Carregamento limitado** – devido ao peso e dimensão do material a transportar, as cargas têm que ser carregadas de forma sobreposta, por isso, a rota tem que ser definida no planeamento;
- **Clientes com necessidade de veículos especiais** – para alguns clientes é necessário que a carga seja transportada por veículos especiais, como por exemplo, o caso de um camião-grua ou um camião de menores dimensões;

- **Horário de planeamento limitado** – como o planeamento é realizado todos os dias, não existe muito tempo disponível para correr algoritmos elaborados em busca da melhor solução;
- **Clientes com dependência** – existem situações que o material a descarregar para um certo cliente ainda terá que ser recolhido nessa mesma rota, por esse motivo, a rota terá obrigatoriamente que visitar um certo local antes de satisfazer esse cliente;
- **Trânsito** – tendo em conta que existem zonas do país em que em determinado horário apresentam muito trânsito, no planeamento de rotas é necessário que se defina ordens de descarga que evitem que o veículo passe por essas mesmas zonas no horário mais crítico. Por exemplo, apesar de idealmente se pretender iniciar a descarga no cliente mais próximo, de forma a reduzir a carga (reduzindo o consumo de combustível), o veículo irá iniciar a descarga no cliente mais longínquo, fazendo a viagem inicial em autoestrada.

Após os dados serem retirados do ERP é criado um mapa de distribuição que contém as seguintes características das encomendas dos clientes:

- Zona geográfica do cliente;
- Peso por cliente (somatório das encomendas);
- Janelas temporais de cada cliente;
- Restrições de volume/dimensão dos materiais por cada cliente;
- Necessidade de veículos especiais por parte dos clientes;
- Margem/importância das encomendas de cada cliente.

Após estes dados serem identificados passa-se à fase da otimização de rotas. O facto de as encomendas terem a entrega prevista para o dia útil seguinte não significa obrigatoriamente que acabem por ser entregues, enquadrando-se este problema num típico exemplo de TOP. A Tecniwood-Soluções procura realizar a entrega em 24h, contudo se a encomenda não justificar a sua entrega será retirada do planeamento e passará para o dia útil seguinte, sendo o cliente informado do mesmo. As entregas apenas serão asseguradas se as mesmas representarem uma mais-valia para a empresa. Esta situação ocorre porque existem situações onde a margem das encomendas é baixa e



para realizar a sua entrega poderá implicar efetuar um desvio que representará um custo que não será suportado pela encomenda de venda.

Nesta etapa são ainda identificados, no caso de existirem, os clientes que serão abastecidos por *outsourcing*, desta forma estes clientes já não serão considerados na otimização de rotas que será realizada de seguida.

Após a fase de identificação dos dados/caraterísticas dos clientes/encomendas que terão que ser entregues no dia seguinte, são aplicados alguns métodos que permitem alcançar uma solução viável. Após as rotas estarem determinadas os dados são inseridos no ERP de forma a criar um mapa de *picking* que será posteriormente entregue ao armazém para que possam proceder à separação e consolidação das cargas. Na Ilustração 26 é apresentado o exemplo de um mapa de *picking* onde consta informações como, ordem de carga, artigos a separar por cliente, localização, inventário e quantidade a separar de cada artigo e ainda observações que poderão ser relativas à correta separação dos materiais ou mesmo informações relativas à descarga.

Cargas						
Tecniwood-Soluções - Madeiras e Derivados, Lda						
Cód. Localização: BR			Matrícula:			
ID Utiliz. Atribuído:						
Nº: TEA1124821						
Cliente: CL99998						
N.º Docum.	Artigo	Descrição	Observações	Posição	Stock	Quantidade Qt. Separ.
EVA1102567	10020300160073136700	AGL RH MEL 030/030 TF/TF 16 2750*1830 .	DESCARGA NA OFICINA EM MILHEIR		111,00	36UN
Cliente: CL06108						
N.º Docum.	Artigo	Descrição	Observações	Posição	Stock	Quantidade Qt. Separ.
EVA11009865	070111100004022000000	ORLA PVC BRANCA 1110 22 0,4 021110		CL102	14.310,00	1.500M.LT
Cliente: CL04012						
N.º Docum.	Artigo	Descrição	Observações	Posição	Stock	Quantidade Qt. Separ.
EVA11009645	100205630120073122900	AGL STD MEL 563/563 MA/MA 12 2750*1830	enviar 1 paleta		48,00	48UN
EVA11009645	100205630190073122900	AGL STD MEL M563/M563 MA/MA 19 2750*1830 .:	enviar 1 paleta	B1202	60,00	30UN
Cliente: CL00208						
N.º Docum.	Artigo	Descrição	Observações	Posição	Stock	Quantidade Qt. Separ.
EVA11009901	060410160140140000000	PAV. FLUTUANTE MADEIRA SUCUPIRA 1/LAM 14 2100*130			498,06	300,3M2
EMPILHADOR						
Cliente: CL01094						
N.º Docum.	Artigo	Descrição	Observações	Posição	Stock	Quantidade Qt. Separ.
EVA1102555	090100000300091140000	MDF STD 30 3660*1220			22,00	22UN
EMPILHADOR						
Cliente: CL00121						
N.º Docum.	Artigo	Descrição	Observações	Posição	Stock	Quantidade Qt. Separ.
EVA11009864	100201120190073126700	AGL STD MEL TIMBER 112/112 TF/TF 19 2750*1830 .:		B1401	30,00	3UN

Ilustração 26 - Exemplo de um mapa de picking da Tecniwood-Soluções

## 4 Metodologia desenvolvida

Neste capítulo é feita referência à metodologia desenvolvida, sendo a mesma testada perante uma instância real da Tecniwood-Soluções. Por último é apresentado o software que irá incorporar essa metodologia de resolução.

### 4.1 Heurística do cluster mais próximo

A análise de *clusters* e a heurística do vizinho mais próximo não serão seguramente dos métodos mais conceituados no mundo académico, no entanto no mundo empresarial acabam por ser dos métodos mais utilizados para alcançar boas soluções num curto período de tempo. Numa situação real, como é o caso da Tecniwood-Soluções, onde o período de planeamento é reduzido, é importante que os métodos utilizados para alcançar soluções sejam simples e rápidos, mesmo que não sejam encontradas as soluções ótimas. No entanto, até a heurística do vizinho mais próximo se pode tornar lenta quando existem muitos clientes com um elevado número de restrições.

A heurística do *cluster* mais próximo resulta de um *mix* da análise de *clusters* com a heurística do vizinho mais próximo, sendo o seu funcionamento em tudo semelhante à heurística do vizinho mais próximo. Na sua forma mais básica o algoritmo funciona do seguinte modo:

1. Escolher o *cluster* mais longínquo para ponto de partida. No caso de existir mais do que um, escolher aleatoriamente um desses *clusters*;

2. Escolher um nó desse *cluster*;
3. Enquanto existirem nós não visitados, seleccionar o nó mais próximo do último nó visitado e adicioná-lo à rota;
4. Ligar o último nó visitado ao nó inicial.

Como é conhecido, para aplicar a heurística do vizinho mais próximo ter-se-á que se criar uma tabela de distâncias que contenha a distância entre todos os clientes e armazéns. Considerando um exemplo em que uma empresa de distribuição tem que abastecer 10 clientes num dia recorrendo a um centro de distribuição, certamente seria um problema muito fácil de solucionar através da heurística do vizinho mais próximo, pois apenas teria que ser conhecida a distância entre esses mesmos 10 clientes e o centro de distribuição. Contudo, numa situação real como é o caso da Tecniwood-Soluções que possui uma carteira de clientes superior a 5000 a situação já não se torna tão simples.

Apesar de esses 5000 clientes não efetuarem encomendas diariamente, teriam que ser considerados na tabela de distâncias, pois a qualquer momento poderiam efetuar uma encomenda. No entanto, não é no facto de ter que ser criada uma tabela de distâncias para estes 5000 clientes, pois tal seria possível, influenciando apenas o tempo que seria necessário para a criar. Porém o grande problema não está no facto de serem 5000 ou 50 clientes, mas sim na altura em que tivessem que ser adicionados novos clientes à tabela. Desta forma, no momento em que aparecesse o cliente 5001 ou 51, a tabela de distâncias teria que ser refeita, e voltar a ser refeita sempre que aparecesse um novo cliente. Tendo em conta que o tempo para calcular a distância entre vários clientes, recorrendo ao Google Maps, é demasiado demorado nunca seria viável utilizar um software na Tecniwood-Soluções que recorresse a este método.

De forma a encontrar um método que conseguisse fazer face a este futuro problema, foi criada a heurística do *cluster* mais próximo. Este método, ao invés de calcular as distâncias entre clientes, define uma distância entre *clusters*, sendo os clientes posteriormente associados a cada cluster através de um código de distrito, concelho e freguesia. Assim, mesmo que diariamente surjam novos clientes nunca será necessário refazer a tabela de distâncias. Para se definir a que *cluster* (distrito, concelho, freguesia) cada cliente é associado, basta recorrer ao seu código postal. Os respetivos

código de distrito e código de concelho dos distritos e concelhos pertencentes a Portugal Continental encontram-se descritos no anexo Concelhos constituintes de Portugal Continental.

Tendo em conta que a Tecniwood-Soluções é uma empresa que tem a sua distribuição a nível nacional, foram definidos como *clusters* e *subclusters* os distritos, concelhos e freguesias de Portugal Continental. No entanto, neste trabalho apenas serão considerados os distritos e concelhos portugueses, ficando as freguesias para trabalho futuro. Na Ilustração 27 estão representados os distritos portugueses pertencentes ao território continental e respetiva distância entre ambos, sendo que distância foi determinada recorrendo ao mapa de estradas português da Tele Atlas presente no Google Maps. Para se definir a tabela de distâncias foi utilizada uma escala unitária que incrementa uma unidade por cada distrito/concelho que a viatura tenha que visitar.

Cod Distrito	Distrito	Origem   Destino	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18
01	Aveiro	01	1	6	3	4	4	2	5	7	3	3	4	5	2	4	5	4	3	2
02	Beja	02	6	1	8	6	4	5	2	2	4	4	3	3	7	3	2	9	7	6
03	Braga	03	3	8	1	3	6	4	7	9	5	5	6	7	2	6	7	2	2	4
04	Bragança	04	4	6	3	1	3	4	5	7	2	5	6	4	3	4	5	4	2	2
05	Castelo Branco	05	4	4	6	3	1	2	3	5	2	2	3	2	5	2	3	7	4	3
06	Coimbra	06	2	5	4	4	2	1	4	6	2	2	3	4	3	3	4	5	3	2
07	Évora	07	5	2	7	5	3	4	1	3	4	3	3	2	6	2	2	8	6	5
08	Faro	08	7	2	9	7	5	6	3	1	6	5	4	4	8	4	3	10	9	7
09	Guarda	09	3	4	5	2	2	2	4	6	1	3	4	3	4	3	4	6	3	2
10	Leiria	10	3	4	5	5	2	2	3	5	3	1	2	3	4	2	3	6	5	4
11	Lisboa	11	4	3	6	6	3	3	3	4	4	2	1	3	5	2	2	7	6	5
12	Portalegre	12	5	3	7	4	2	4	2	4	3	3	3	1	6	2	3	8	5	4
13	Porto	13	2	7	2	3	5	3	6	8	4	4	5	6	1	5	6	3	2	2
14	Santarém	14	4	3	6	4	2	3	2	4	3	2	2	2	5	1	2	7	6	5
15	Setúbal	15	5	2	7	5	3	4	2	3	4	3	2	3	6	2	1	8	7	6
16	Viana do Castelo	16	4	9	2	4	7	5	8	10	6	6	7	8	3	7	8	1	3	5
17	Vila Real	17	3	7	2	2	4	3	6	8	3	4	6	5	2	6	7	3	1	2
18	Viseu	18	2	6	4	2	3	2	5	7	2	3	5	4	2	5	6	5	2	1

Ilustração 27 - Representação dos distritos portugueses constituintes do território nacional continental e respetiva distância entre eles

Como se pode verificar pela Ilustração 27, por exemplo, uma viatura que parta do distrito de *Aveiro* e tenha como destino o próprio distrito (*origem* = 01, *destino* = 01) será considerada a distância igual a 1, pois a viatura apenas terá que visitar o distrito de *Aveiro*. No caso de a viatura partir de *Aveiro* e ter como destino o distrito de *Braga* (*origem* = 01, *destino* = 03), a sua distância será igual a 3, pois a viatura terá que passar obrigatoriamente por 3 distritos: *Aveiro*, *Porto*

e *Braga*. As distâncias consideradas serão sempre aquelas que passam pelo menor número de distritos/concelhos, tendo em conta o mapa de estradas.

Como se pode verificar pela Ilustração 28 o processo de criação de *clusters* e *subclusters* passa por 3 etapas. Numa primeira etapa considera-se como *cluster* o país, sendo este dividido nos distritos que o constituem. Na segunda etapa volta-se a dividir os *clusters*, assim nesta fase serão considerados os concelhos portugueses pertencentes aos respetivos distritos. A terceira etapa passa por voltar a dividir os *clusters* (concelhos) nas respetivas freguesias, no entanto esta etapa não será considerada neste trabalho ficando a sua análise para trabalho futuro. Deve-se ter em conta que apenas se avançará nas etapas se tal for necessário, podendo o método ficar-se logo pela primeira etapa.

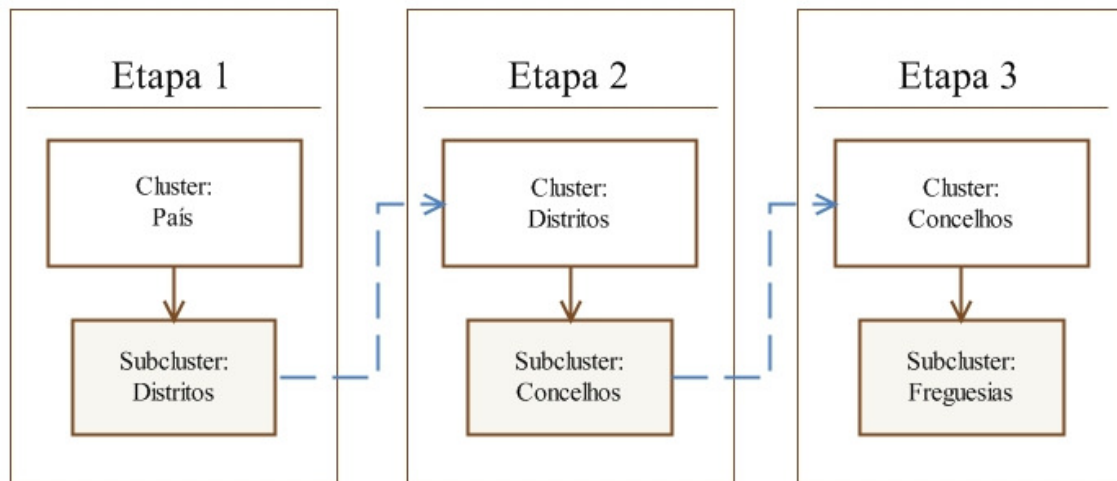


Ilustração 28 - Representação das etapas necessárias para a criação dos *clusters* e *subclusters*

A divisão dos *clusters* em *subclusters* é realizada quando existem clientes espalhados por vários concelhos, sendo necessário realizar mais do que uma rota. Por exemplo se existirem clientes localizados nos concelhos de *Braga* e *Guimarães*, ambos pertencentes ao distrito de *Braga*, apenas se procederá à segunda etapa no caso de ser necessário efetuar duas rotas, devido à capacidade dos clientes exceder a capacidade de carga de um veículo, porque no caso de não ultrapassar o sistema apenas considerará os clientes do distrito de *Braga* não necessitando de dividir o *cluster*.

No caso dos distritos portugueses, como se pode verificar pela Ilustração 27, obteve-se uma matriz com 18 linhas por 18 colunas o que acaba por ser uma tabela de

dimensões reduzidas. Porém quando se passa para os concelhos, obtém-se uma matriz com 278 linhas por 278 colunas. Neste caso o processo de calcular todas estas distâncias levaria muito tempo, pelo que se optou por uma nova abordagem, sendo apenas calculadas as distâncias entre concelhos que pertençam ao mesmo distrito e a distritos fronteiriços. Ou seja, apenas será calculada a distância entre concelhos cuja distância dos respetivos distritos seja  $\leq 2$ . Este método foi utilizado porque tal como na heurística do vizinho mais próximo, após se definir o primeiro nó/cliente a visitar o próximo passo será localizar o nó/cliente mais próximo do cliente já associado à rota.

Na Ilustração 29 é apresentado um exemplo de uma empresa de distribuição cujo centro de distribuição está localizado em *Braga*, tendo esta que visitar 2 clientes em *Braga* e 3 clientes em *Aveiro*. Cada veículo tem capacidade de carga de 30 kg, sendo que cada um dos clientes ocupa a seguinte capacidade: **1** – 25 kg; **2** – 5 kg; **3** – 5 kg; **4** – 10 kg; **5** – 10 kg. Desta forma o método passa por determinar primeiro qual o cliente mais longínquo. Após se determinar que esse cliente se trata do cliente número **4**, o algoritmo pesquisa quais os clientes mais próximos deste, associando-os à rota. No entanto, mesmo após se associar os clientes mais longínquos, o veículo ainda tem capacidade de carga livre, pelo que será ainda associado o cliente número **2**. Apesar de não ser o mais próximo de *Aveiro*, trata-se do cliente cuja capacidade ainda permite que seja associado à rota. Sendo assim, é necessário realizar uma nova rota para satisfazer o cliente número **1**.

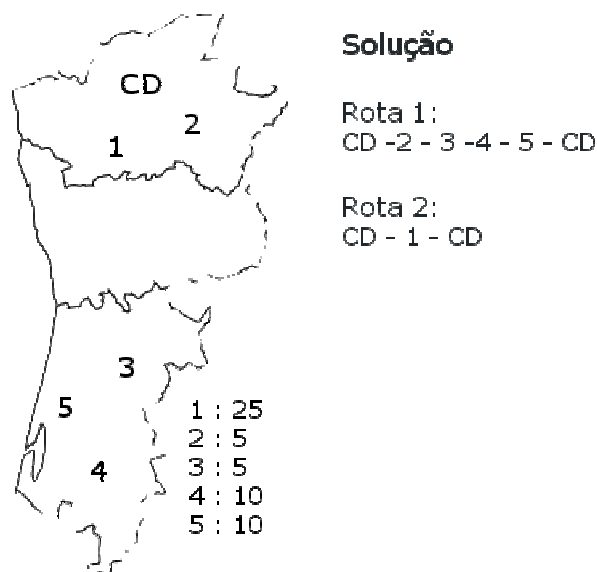


Ilustração 29 - Exemplo de um exercício de otimização recorrendo à heurística do *cluster* mais próximo

## 4.2 Resolução de uma instância real

Para testar a heurística do *cluster* mais próximo recorreu-se aos dados de um dia de planeamento de rotas da Tecniwood-Soluções. Desta forma é possível testar como o algoritmo se comporta perante uma situação real. No entanto, neste problema apenas serão consideradas como restrições a capacidade de carga dos veículos e uma frota heterogénea limitada, sendo que existem vários veículos com capacidade de carga de 64 *u.p.* (unidades de peso) e somente 1 veículo com capacidade de carga de 200 *u.p.* que possui o dobro do custo de utilização de um veículo de 64 *u.p.* Como neste problema não será considerada a restrição temporal, não se irá considerar o número de veículos necessários, mas sim o número de rotas necessárias, pois numa situação real um veículo pode efetuar mais do que uma rota.

Esta instância conta com um conjunto de 60 clientes distribuídos por 3 distritos e 21 concelhos que devem ser abastecidos obrigatoriamente, inserindo-se assim num problema do tipo VRP.

### 4.2.1 Clustering

Tendo em conta que não existe limite temporal e como o algoritmo da heurística do *cluster* mais próximo tenta numa primeira instância agrupar os clientes por *clusters*, a primeira etapa para resolver esta instância passa por realizar um *clustering* inicial. Desta forma, ao invés de ter que se considerar 60 clientes, apenas se terá que lidar com um total de 21 clientes (total de concelhos), estando os mesmos representados na Tabela 3. Nesta tabela são apresentados os 21 *clusters*/clientes com o respetivo peso total dos clientes inseridos nesse concelho e a respetiva distância ao centro de distribuição de Braga.

Tabela 3 - Exemplo de um problema real no planeamento de rotas da Tecniwood-Soluções

Distrito	Concelho	Procura (u.p.)	Distância ao CD
Aveiro	Aveiro	52,0	?
Braga	Amares	39,0	2
Braga	Barcelos	33,0	2
Braga	Braga	68,0	1
Braga	Cabeceiras de Basto	3,0	4
Braga	Esposende	26,1	3



Braga	Fafe	10,1	3
Braga	Guimarães	82,1	2
Braga	Vieira do Minho	28,0	3
Braga	Vila Nova de Famalicão	49,1	2
Braga	Vizela	18,0	3
Porto	Amarante	9,0	5
Porto	Felgueiras	2,0	4
Porto	Gondomar	33,0	6
Porto	Lousada	4,0	4
Porto	Póvoa do Varzim	35,0	3
Porto	Vila do Conde	5,0	3
Porto	Vila Nova de Gaia	30,0	6
Porto	Trofa	1,0	3
Viana	Ponte de Lima	36,1	3
Viana	Viana do Castelo	18,0	3
<b>Total</b>		<b>581,5</b>	

A partir deste momento é definido que o total da procura de um determinado concelho não poderá ser entregue por mais do que um veículo. Esta opção é tomada para evitar que mais do que um veículo visite o mesmo concelho, sendo que esta opção também poderia ser tomada no caso dos clientes. Apesar de muitas vezes ser possível dividir a encomenda de um cliente, isso apenas deve ser considerado como a última alternativa. Pois pelo facto de uma encomenda não ser entregue na sua totalidade na primeira visita leva muitas vezes que o cliente se sinta prejudicado, pois ele poderia ter necessidade de receber todo o material de uma só vez.

#### 4.2.2 Afetação de clientes/clusters às viaturas

Fazendo uma primeira análise ao problema verifica-se que existem dois clientes, *Braga* e *Guimarães*, que possuem uma procura superior à capacidade de carga de um veículo de 64 *u. p.*, sendo que terão que ser abastecidos obrigatoriamente pelo veículo com capacidade de carga de 200 *u. p.*. Por este motivo antes de se iniciar a heurística do *cluster* mais próximo deve-se criar uma relação de dependência entre estes clientes e o veículo de 200 *u. p.*. Tendo em conta que será necessário recorrer ao veículo de 200 *u. p.*, constata-se que o número mínimo de rotas possíveis será 1 rota de 200 *u. p.* mais 6 rotas de 64 *u. p.*.

Geralmente a primeira etapa a realizar, recorrendo à heurística do *cluster* mais próximo, seria determinar o cliente mais longínquo para começar a definir rotas. No

entanto, como neste caso existe uma relação de dependência entre dois clientes e o único veículo de 200 *u.p.* a primeira etapa passa por determinar qual a rota que o veículo de 200 *u.p.* terá que realizar. Como é possível verificar pela Ilustração 30 os clientes *Braga* e *Guimarães* são associados à rota na mesma ordem de prioridade e como é possível constatar o cliente *Braga* possui uma procura de 68 *u.p.* e encontra-se a uma distância 1 do centro de distribuição de Braga. Por sua vez o cliente *Guimarães* possui uma procura de 82,1 *u.p.* e encontra-se a uma distância 2 do centro de distribuição de Braga. Entre os dois clientes encontra-se representado o somatório da procura de ambos,  $68 + 82,1 = 150,1$ , assim como a distância a que os dois clientes se encontram um do outro, 2.

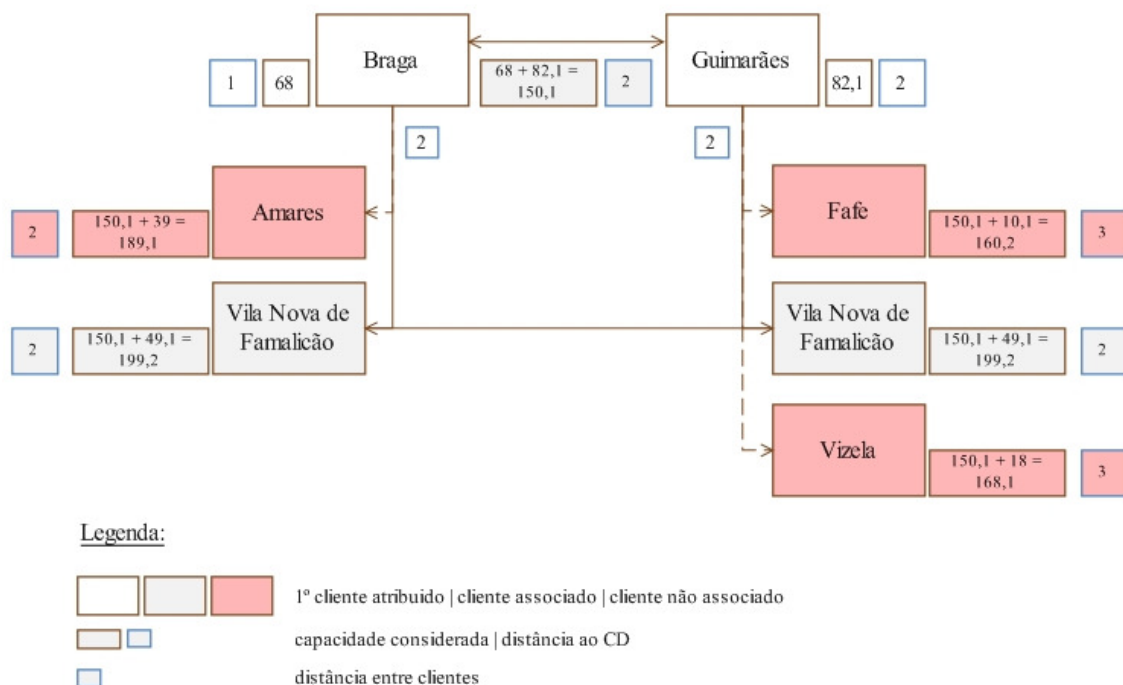


Ilustração 30 - Representação dos procedimentos realizados pelo algoritmo na afetação de clientes ao veículo de 200 *u.p.* (Rota 1)

Caso existissem clientes/concelhos entre ambos o passo seguinte seria procurar os mesmos e verificar se existia capacidade para os associar à rota, como isso não ocorre neste caso a etapa seguinte será procurar quais os clientes que se encontram perto de ambos, neste caso a uma distância 2. Como neste caso ainda existe capacidade disponível, a prioridade passa por associar primeiro os clientes que se encontrem perto de ambos, sendo que neste caso o cliente *Vila Nova de Famalicão* satisfaz essa

condição. Após se realizar o teste de capacidade,  $150,1 + 49,1 = 199,2$ , a rota é terminada pois já não existe mais capacidade disponível.

Agora que a rota do veículo de 200 u.p. está definida já é possível estipular as restantes rotas de 64 u.p.. De seguida o algoritmo procura qual o cliente mais longínquo do centro de distribuição, sendo que esse cliente é *Aveiro* com uma procura de 52 u.p. e distância ?. Esta distância é uma incógnita pois o cliente pertence a um distrito não fronteiriço a Braga. Como é possível constatar pela Ilustração 31 após se associar o cliente *Aveiro* o algoritmo procura o cliente mais perto, sendo ele *Vila Nova de Gaia* a uma distância 6, contudo não é possível associar este cliente pois excede a capacidade do veículo,  $52 + 30 = 82$ . De seguida é testado o cliente *Gondomar* que se encontra a uma distância 8, no entanto, este também não é associado pois também excede a capacidade,  $52 + 33 = 85$ .

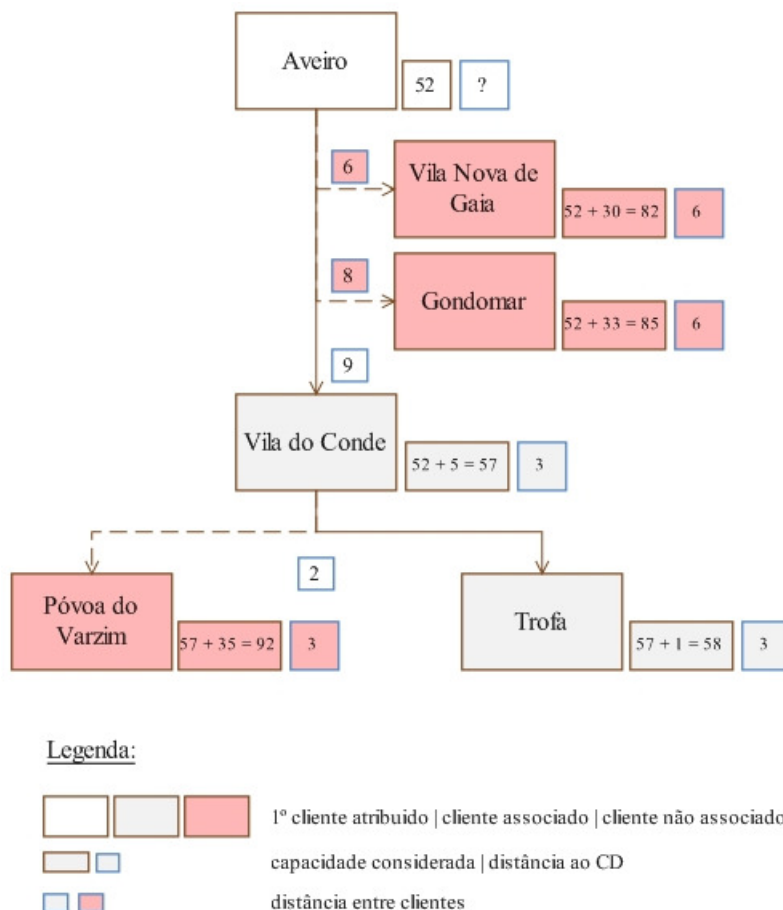


Ilustração 31 - Representação dos procedimentos realizados pelo algoritmo na afetação de clientes ao veículo de 64 u.p. (Rota 2)

O próximo cliente a ser testado e associado é *Vila do Conde* com uma procura de 5 u.p. ( $52 + 5 = 57$ ) e que se encontra a uma distância 9 de *Aveiro*. O próximo passo será verificar quais os clientes mais próximos de *Vila do Conde*, sendo que a uma distância 2 se encontram os clientes *Póvoa do Varzim* e *Trofa*. O cliente que fica associado à rota é a *Trofa*,  $57 + 1 = 58$ , pois a *Póvoa do Varzim* excede a capacidade,  $57 + 35 = 92$ . Como não existe mais nenhum cliente próximo da *Trofa* com pouca procura, a associação de clientes a esta rota é concluída.

De seguida, de forma a definir mais uma rota, o algoritmo volta a procurar o cliente mais longínquo do centro de distribuição ainda não associado, sendo ele *Vila Nova de Gaia* a uma distância 6 com uma procura de 30 u.p.. Como é possível verificar pela Ilustração 32 o próximo cliente a ser associado é *Gondomar* que se encontra a uma distância 2, sendo que não é associado mais nenhum cliente, pois o veículo já não possui capacidade suficiente para associar mais nenhum cliente.

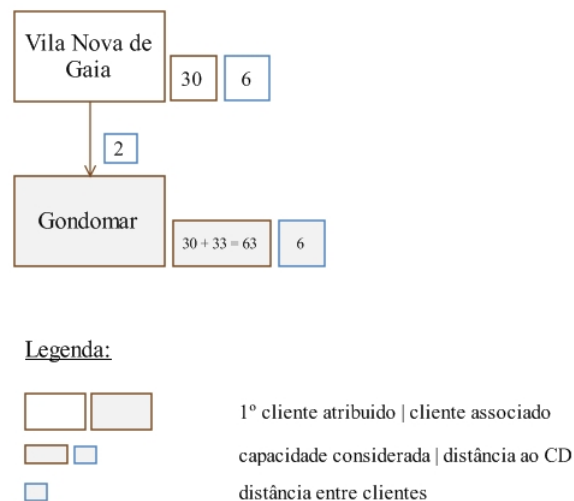


Ilustração 32 - Representação dos procedimentos realizados pelo algoritmo na afetação de clientes ao veículo de 64 u.p. (Rota 3)

Na Ilustração 33 encontram-se as etapas realizadas na definição da rota mais complexa desta instância. Tal como ocorreu nas restantes rotas inicia-se a rota a partir do cliente mais longínquo ainda não associado que neste caso é *Amarante* e de seguida verifica-se quais os clientes mais próximos deste, sendo eles *Felgueiras* e *Lousada* a uma distância 2. Para se decidir qual cliente associar, no caso de a procura não exceder a capacidade do veículo, primeiro opta-se pelo cliente que fica mais longe do centro de

distribuição e no caso de a distância ser igual, opta-se pelo cliente com maior procura. Como *Felgueiras* e *Lousada* se encontram a uma distância 4 do centro de distribuição de Braga, escolhe-se *Lousada* pois a procura é maior,  $9 + 4 = 13$ .

O motivo pelo qual se escolhe o cliente mais longínquo do centro de distribuição, em caso de igualdade, passa por tentar evitar que mais do que um veículo visite as zonas mais distantes. De seguida o algoritmo segue os mesmos procedimentos demonstrados nas anteriores rotas, vindo ainda a associar os clientes *Felgueiras*, *Vizela*, *Fafe* e *Cabeceiras de Basto*.

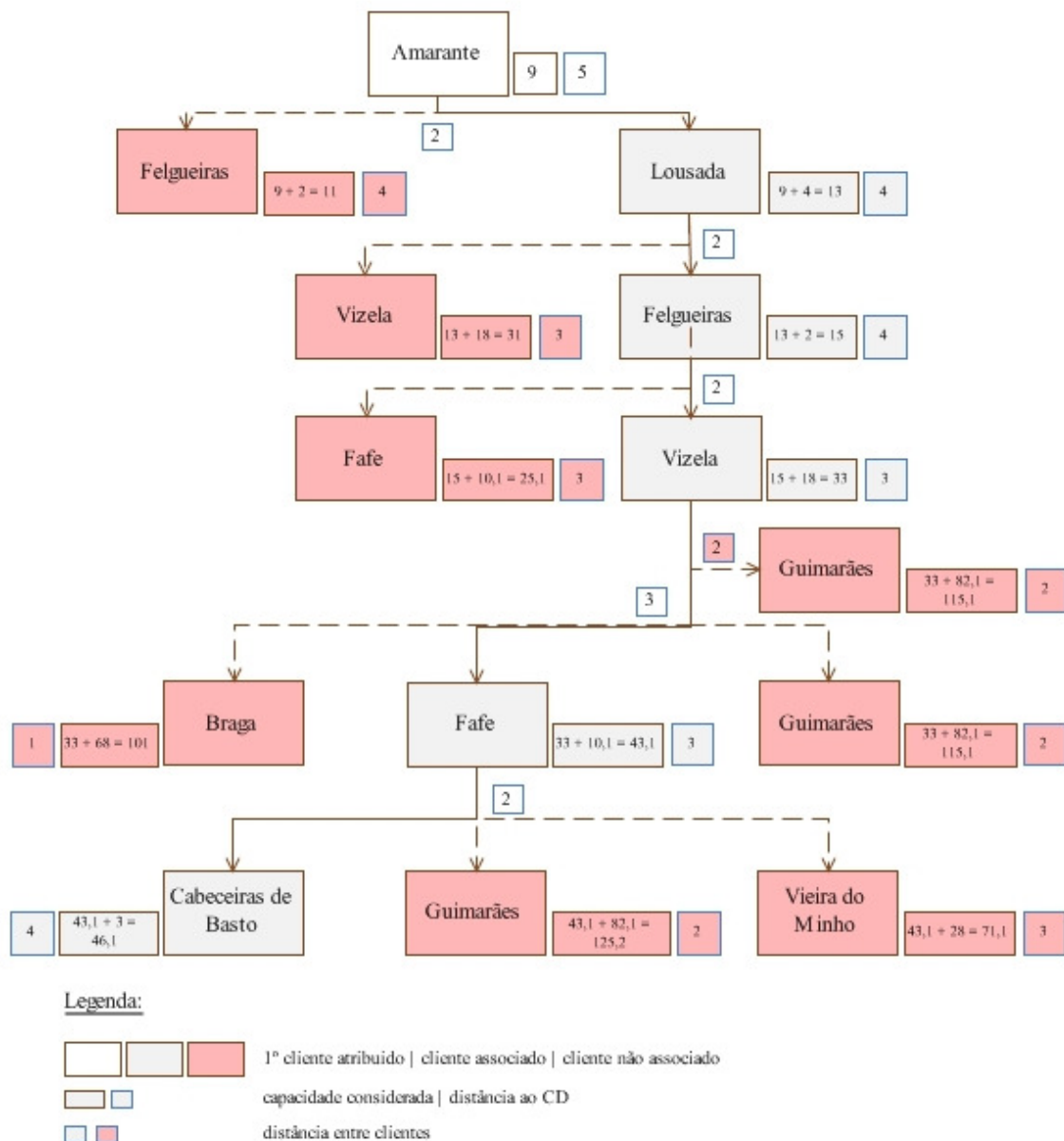


Ilustração 33 - Representação dos procedimentos realizados pelo algoritmo na afetação de clientes ao veículo de 64 u.p. (Rota 4)

De seguida o algoritmo continua a realizar os mesmos procedimentos de forma a definir a quinta rota, na qual são associados os clientes *Esposende* e *Póvoa do Varzim*, como é possível verificar pela Ilustração 34.

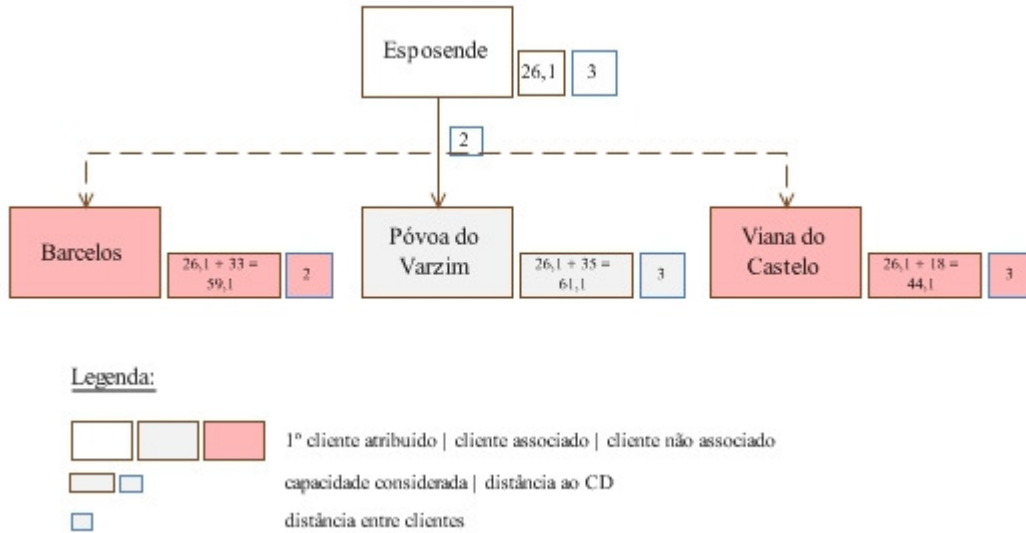


Ilustração 34 - Representação dos procedimentos realizados pelo algoritmo na afetação de clientes ao veículo de 64 u.p. (Rota 5)

Na Ilustração 35 é apresentada a sexta rota encontrada pelo algoritmo à qual foram associados os clientes *Ponte de Lima* e *Viana do Castelo*.

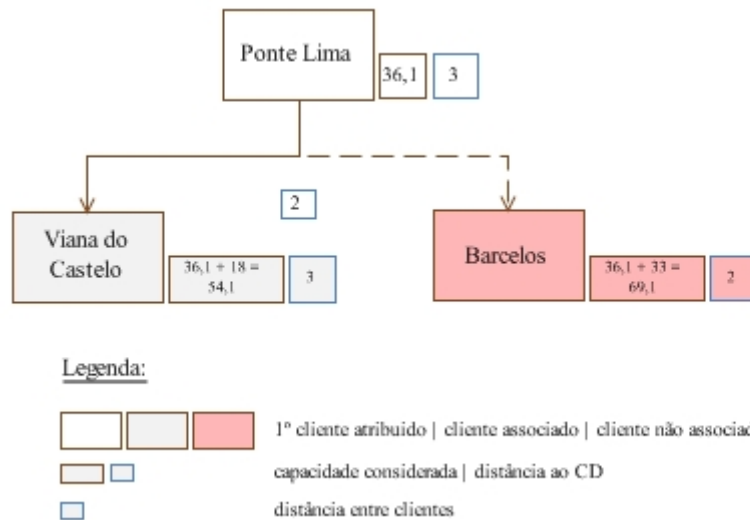


Ilustração 35 - Representação dos procedimentos realizados pelo algoritmo na afetação de clientes ao veículo de 64 u.p. (Rota 6)

Na Ilustração 36 é apresentada a sétima rota a ser definida pelo algoritmo à qual foram associados os clientes *Vieira do Minho* e *Barcelos*.

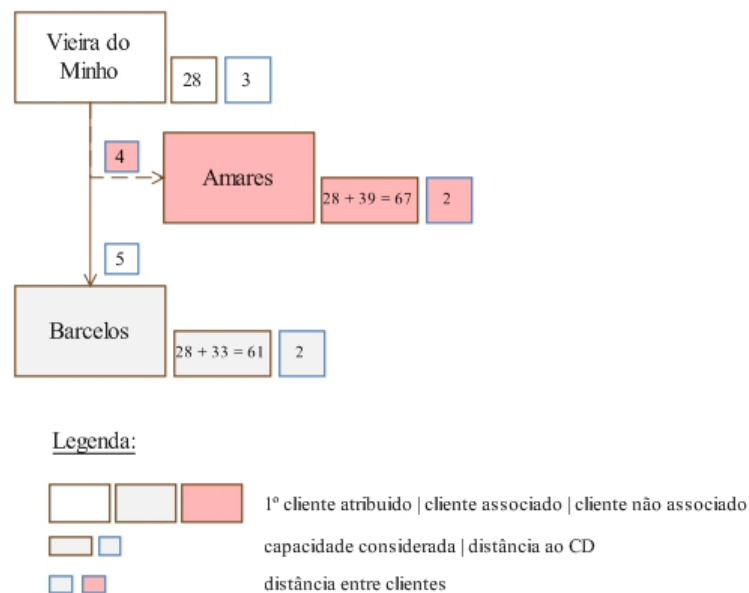


Ilustração 36 - Representação dos procedimentos realizados pelo algoritmo na afetação de clientes ao veículo de 64 u.p. (Rota 7)

Tendo em conta que apenas existe um cliente por associar é realizada uma rota que apenas irá visitar o cliente de *Amares*, estando a mesma representada na Ilustração 37.

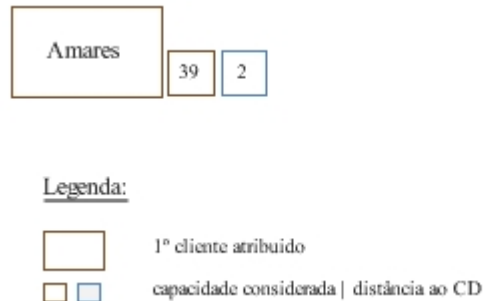


Ilustração 37 - Representação dos procedimentos realizados pelo algoritmo na afetação de clientes ao veículo de 64 u.p. (Rota 8)

### 4.2.3 Definição de rotas

Após a resolução do problema obtém-se uma solução que necessita de 1 rota de um veículo de 200 *u.p.* e 7 rotas de veículos de 64 *u.p.*, com um custo total de 98 *u.d.* (unidades de distância) ( $14 + 24 + 14 + 17 + 8 + 8 + 9 + 4 = 98$ ) como se pode verificar pela Ilustração 38. Ainda na Ilustração 38 encontram-se representadas as rotas definidas com a respetiva ordenação (da esquerda para a direita), assim como o custo de cada rota e a capacidade que transporta. Como se pode verificar pela rota do veículo de 200 *u.p.*, cuja distância percorrida é 7, virá a ter um custo de 14 *u.d.* pois como já havia sido referido este veículo possui o dobro do custo de um veículo de 64 *u.p.*.



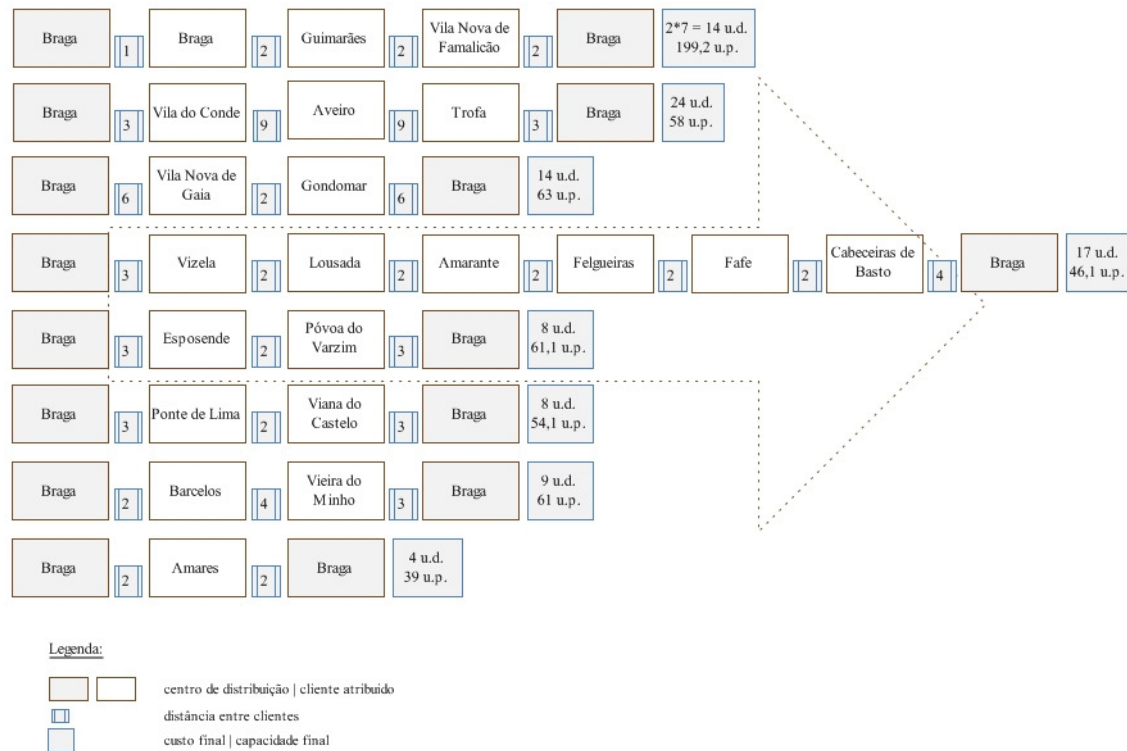


Ilustração 38 - Representação das 8 rotas definidas pelo algoritmo

Como se pode verificar pela Ilustração 38 a ordem de descarga não corresponde à ordem de associação que o algoritmo efetuou para cada rota, pois o objetivo deste algoritmo numa primeira fase passa apenas por definir quais os clientes que devem ficar associados a cada rota. Após serem definidos os clientes associados a cada rota, recorreu-se à heurística do vizinho mais próximo para determinar qual a ordem de descarga. Em alguns casos onde poderá existir mais do que uma solução ótima (que apresente o mesmo resultado) optou-se por iniciar a descarga pelos clientes que possuem maior procura, desta forma o veículo começa a reduzir o peso transportado mais cedo, obtendo assim um consumo de combustível menor.

Na Ilustração 39 encontra-se representado um dos caminhos ideais da rota que irá abastecer os clientes *Braga*, *Guimarães* e *Vila Nova de Famalicão*.

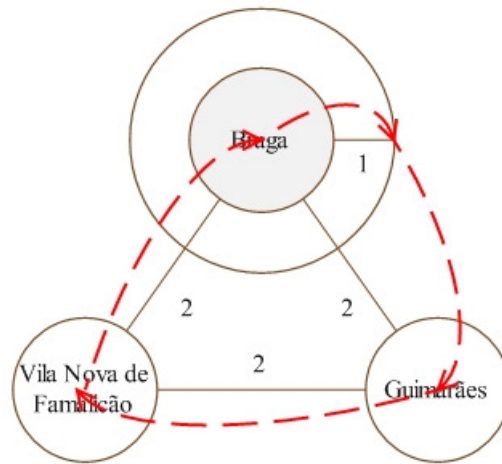


Ilustração 39 - Representação de um dos caminhos ideais para a rota do veículo de 200 u.p. (Rota 1)

Na Ilustração 40 encontra-se representado um dos caminhos ideais para a rota que terá como objetivo abastecer os clientes *Vila do Conde*, *Aveiro* e *Trofa*.

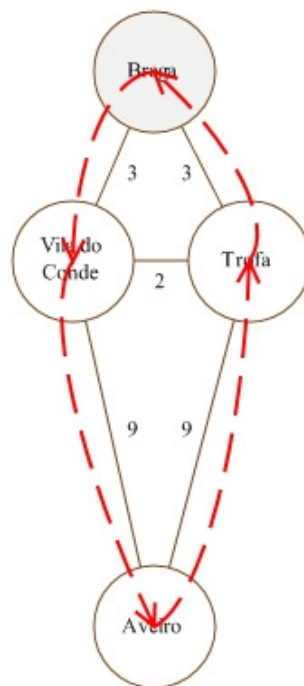


Ilustração 40 - Representação de um dos caminhos ideais para a rota do veículo de 64 u.p. (Rota 2)

Na Ilustração 41 é apresentado um dos caminhos ideais da rota que irá abastecer os clientes *Vila Nova de Gaia* e *Gondomar*.

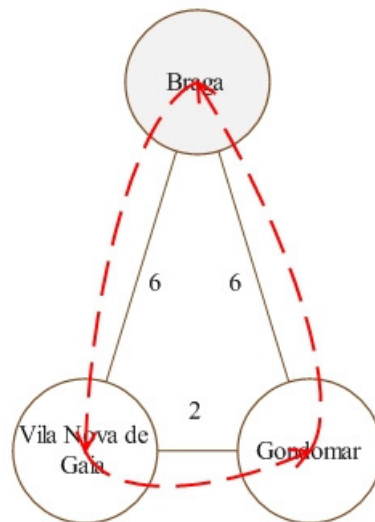


Ilustração 41 - Representação de um dos caminhos ideais para a rota do veículo de 64 u.p. (Rota 3)

Na Ilustração 42 encontra-se representado um dos caminhos ideais para a rota que terá que visitar os clientes *Vizela*, *Lousada*, *Amarante*, *Felgueiras*, *Fafe* e *Cabeceiras de Basto*.

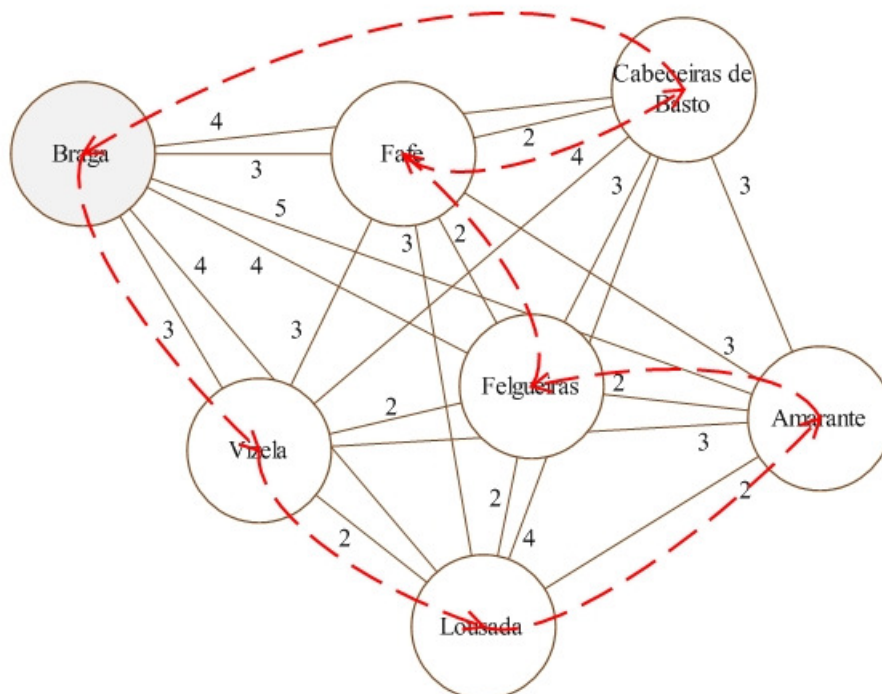


Ilustração 42 - Representação de um dos caminhos ideais para a rota do veículo de 64 u.p. (Rota 4)

Na Ilustração 43 é apresentado um dos caminhos ideais para a rota que irá visitar os clientes *Esposende* e *Póvoa do Varzim*.

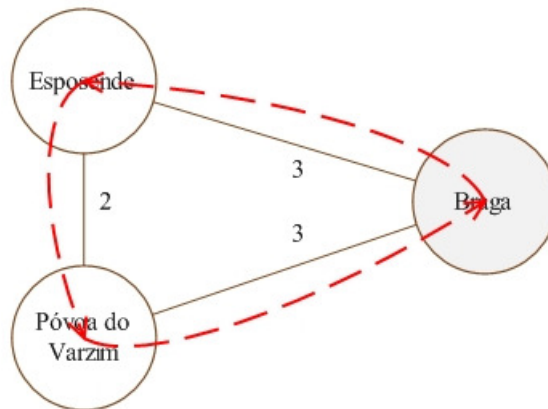


Ilustração 43 - Representação de um dos caminhos ideais para a rota do veículo de 64 u.p. (Rota 5)

Na Ilustração 44 é apresentado um dos caminhos ideais encontrado pelo algoritmo para a rota que terá que visitar os clientes *Ponte de Lima* e *Viana do Castelo*.

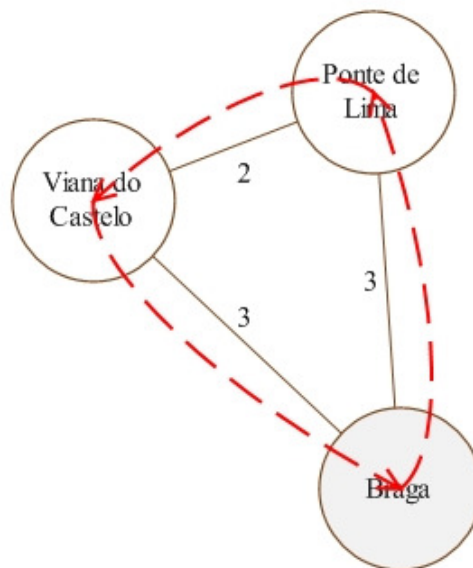


Ilustração 44 - Representação de um dos caminhos ideais para a rota do veículo de 64 u.p. (Rota 6)

Na Ilustração 45 encontra-se representado um dos caminhos ideais da rota que terá que abastecer os clientes *Barcelos* e *Vieira do Minho*.

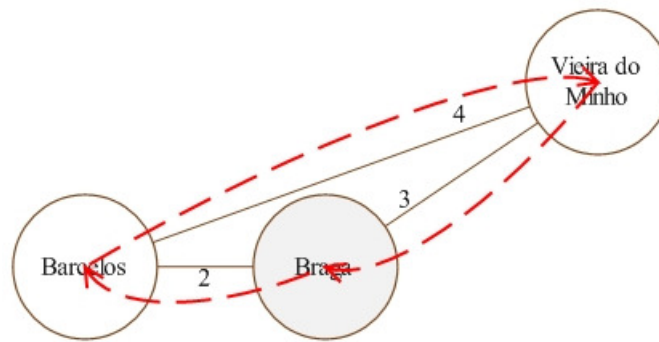


Ilustração 45 - Representação de um dos caminhos ideais para a rota do veículo de 64 u.p. (Rota 7)

Por último, na Ilustração 46 encontra-se representado o único caminho possível para a rota que irá abastecer o cliente *Amares*.

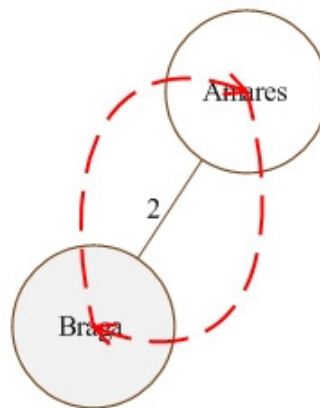


Ilustração 46 - Representação do caminho ideal para a rota do veículo de 64 u.p. (Rota 8)

### 4.3 Software

A fase final deste projeto passa por desenvolver um software que permita aplicar a heurística do *cluster* mais próximo na Tecniwood-Soluções. De forma a atingir esse objetivo recorreu-se ao Drupal que se trata de um gestor de conteúdos/*framework* desenvolvido em linguagem PHP (*Hypertext Preprocessor*). Este recorre a um servidor Apache, a uma base de dados MySQL e ao sistema operativo Windows 7, sendo possível recorrer a outras opções como se pode verificar pela Ilustração 47.

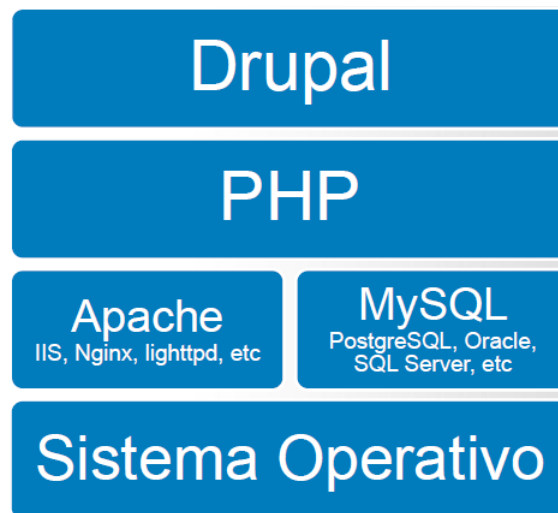


Ilustração 47 - Esquema representativo do modo de funcionamento do Drupal

O software desenvolvido encontra-se na sua primeira versão, ficando ainda por definir e implementar algumas atualizações ao mesmo. No entanto, o software já permite definir os centros de distribuição existentes, quais as viaturas presentes em cada centro de distribuição e ainda registar os clientes e as suas respetivas encomendas.

Na Ilustração 48 encontra-se representado o separador “Centros de Distribuição” no qual é possível listar quais os armazéns disponíveis, assim como algumas das informações mais relevantes. Neste caso estão representados os centros de distribuição de Braga e Leiria.

A screenshot mostra a interface de administração do Drupal. No topo, há uma barra de navegação com links como Dashboard, Content, Structure, Appearance, People, Modules, Configuration, Reports e Help. Abaixo, há uma barra azul com o logo do Drupal e o texto "HCMP". Abaixo disso, há uma barra de navegação com links como Home, Centros de Distribuição, Viaturas, Clientes e Encomendas. O separador "Centros de Distribuição" está selecionado. Abaixo, há uma barra de pesquisa e uma barra de navegação com o link "Add content". O conteúdo principal mostra uma tabela com as seguintes informações:

Fotografias	Nome	Endereço	Empilhadores
	Leiria	Estrada Nacional 109, Nº 86 Carreira 2425-409 Monte Real Portugal	3
	Braga	Rua Parque Industrial de Manilla 4705-629 Braga Portugal	5

Na base da página, há uma barra de rodapé com o texto "Powered by Drupal".

Ilustração 48 - Screenshot do separador "Centros de Distribuição"

Caso se pretenda obter mais informações acerca de algum dos centros de distribuição, pode-se seleccionar um deles e desta forma aceder a informações como a morada, área do armazém, número de empilhadores disponíveis, fotografias e até a geolocalização desses centros de distribuição como se pode verificar pela Ilustração 49. A par dos dados aqui apresentados, podem também ser inseridos outros campos como, por exemplo, coordenadas geográficas ou número de trabalhadores.

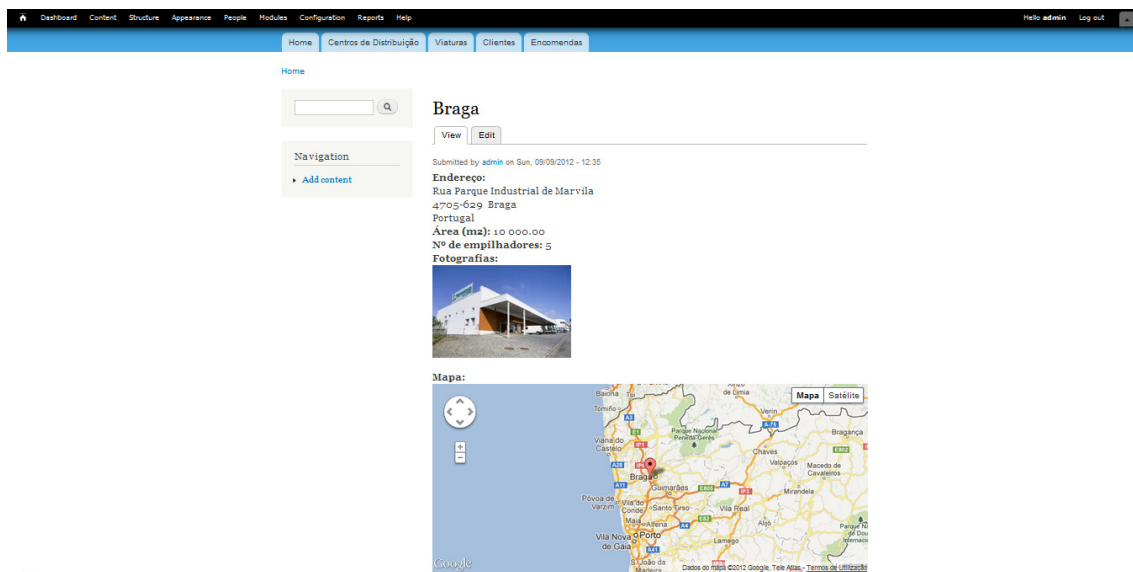


Ilustração 49 - Screenshot do separador "Centros de Distribuição - Braga"

Na Ilustração 50 encontra-se representado o separador “Viaturas” de onde consta uma listagem das viaturas disponíveis, assim como algumas das suas características, neste caso apenas são apresentadas 3 das viaturas disponíveis. Após se seleccionar uma das viaturas referenciadas é possível ter acesso a todas as características inseridas no software, sendo elas a marca, modelo e ano da viatura, capacidade, dimensões da caixa e qual o centro de distribuição que esta se encontra associada. O campo “Centro de Distribuição” encontra-se linkado aos centros de distribuição, por isso se a dado momento uma viatura mudar de centro de distribuição apenas é necessário atualizar este campo que o mesmo será atualizado ao longo de todo o software.

HCMP

Home Centros de Distribuição Viaturas Clientes Encomendas

Viaturas

Centro de distribuição  
- Any - Apply

Fotografias	Nome	Marca	Modelo	Ano	Cap. (kg)	Cap. (m3)	Dimensões	CD
	78-EA-91	Mitsubishi	Canter	2 007	3 660.00	31.37	5,1*2,05*0,46	Leiria
	10-11-VG	Scania	94G 260	2 003	11 150.00	42.77	6,6*2,4*0,5	Braga
	47-EG-74	Mitsubishi	Canter	2 007	3 660.00	32.59	5,1*2,13*0,46	Braga

Ilustração 50 - Screenshot do separador "Viaturas"

Tal como ocorre nos restantes separadores, também no separador “Clientes” (Ilustração 51) se encontram listados os clientes presentes em conjunto com algumas das suas características, sendo possível realizar um filtro por centro de distribuição.

HCMP

Home Centros de Distribuição Viaturas Clientes Encomendas

Clientes

CD + próximo  
- Any - Apply

Fotografias	Nome	Endereço	Empilhadores	CD + próximo	Viaturas validas
	CL003	Rua Conde Belmir, Vermil 4805-548 Guimarães Portugal	1	Braga	10-11-VG
	CL002	Leiria 2425-410 Leiria Portugal	2	Leiria	78-EA-91
	CL001	Rua Madre Maria Rosa Flech, Lomar nº7 4705-709 Braga Portugal	0	Braga	47-EG-74

Ilustração 51 - Screenshot do separador "Clientes"

Se um determinado cliente for selecionado, como se pode verificar pela Ilustração 52, é possível ter acesso às suas características. Entre elas destacam-se a morada, qual o centro de distribuição associado, quais as viaturas que podem visitar as



suas instalações, quantos empilhadores possuem, fotografias das suas instalações, observações e ainda uma geolocalização das suas instalações. De referir que a geolocalização é realizada de forma automática após se inserir a morada e código postal do cliente, tal como ocorre com os centros de distribuição, não sendo necessário estar a realizar um *picking* no mapa.

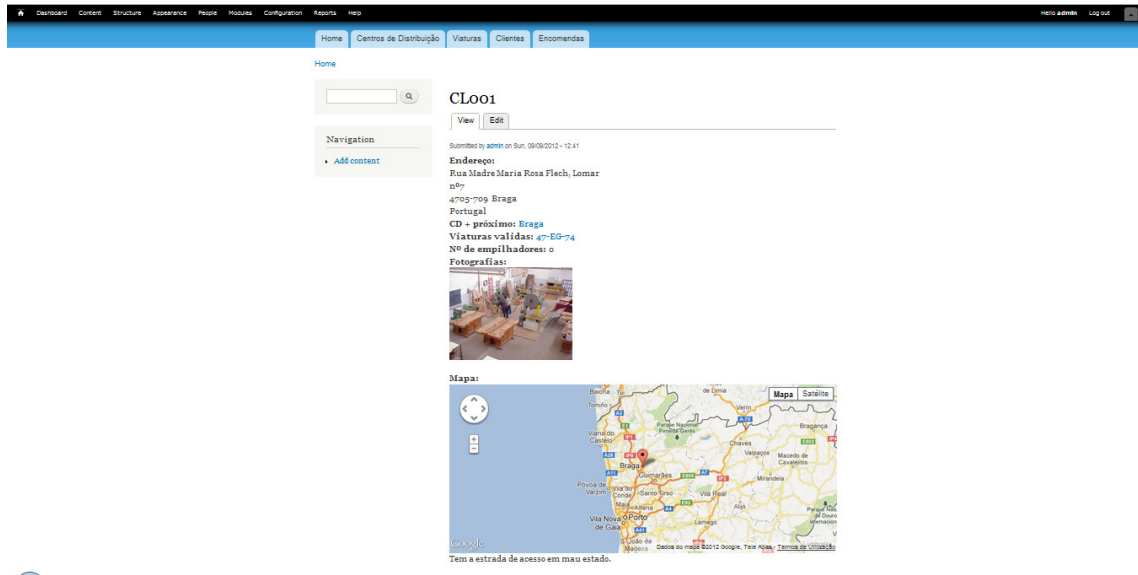


Ilustração 52 - Screenshot do separador "Clientes - CL001"

Na Ilustração 53 está representado o separador “Encomendas” de onde consta uma listagem de todas as encomendas que os clientes efetuaram, sendo que aqui é possível agrupar as encomendas por cliente. Cada encomenda terá um determinado peso e volume associados e as mesmas poderão possuir um dos seguintes estados: “Para entregar”, “Já entregue”, “Agendado”, ou vários ao longo do seu percurso.

The screenshot displays the HCMP web application interface. At the top, there is a navigation bar with links: Dashboard, Content, Structure, Appearance, People, Modules, Configuration, Reports, and Help. Below this is a blue header with the HCMP logo and user account links: My account, Log out. The main content area features a search bar, a navigation menu with 'Add content', and a table of orders. The table has columns for ID, Client, Weight (kg), Status, and Volume (m3). The footer indicates the application is powered by Drupal.

ID	Cliente	Peso (kg)	Status	Volume (m3)
EVA003	CL003	2 500.00	Para entregar	12.00
EVA002	CL002	1 200.00	Para entregar	2.00
EVA001	CL001	1 000.00	Para entregar	1.00

Ilustração 53 - Screenshot do separador "Encomendas"

No futuro será necessário introduzir de forma manual dados referentes aos centros de distribuição, viaturas, entre outros. No entanto, muitos dos dados serão introduzidos de forma automática, como é o caso dos dados referentes aos clientes e às suas encomendas. O software importará do ERP os dados para um determinado planeamento e sempre que isso acontecer será verificado se os clientes que constam dessa listagem já estão inseridos na base de dados do software. Caso isso não aconteça o software irá registar na base de dados esse cliente e respetivos dados de forma automática, como é o caso da morada e geolocalização. Posteriormente caberá ao utilizador registar no software outros pormenores como, por exemplo, quais as viaturas que podem visitar o cliente, inserir fotografias, entre muitos outros pormenores que possam vir a ser importantes.

## 5 Conclusões e trabalho futuro

A logística de transporte representa uma das maiores fontes de despesa de uma empresa, especialmente quando esta se trata de um distribuidor de derivados de madeira como é o caso da Tecniwood-Soluções. No dia-a-dia desta empresa é necessário lidar e solucionar problemas de VRP e TOP, de forma a assegurar a distribuição dos seus produtos pelos clientes. No entanto, pelo facto de as suas rotas/cargas estarem sujeitas a um elevado número de restrições leva a que seja gerado um problema de otimização muito complexo, sendo necessário recorrer a métodos heurísticos para solucionar esse mesmo problema.

Foi realizada uma revisão crítica da literatura que permitiu compreender o TOP e o VRP em muitas das suas variantes, assim como compreender também alguns dos modelos que existem atualmente para solucionar os mesmos. Nesta revisão foi possível detetar que continua a existir uma grande distância entre a investigação científica e a inclusão dos seus modelos no mundo real. Isso ainda é comum pelo facto de estes modelos terem como objetivo encontrar a solução ótima. Contudo, no mundo real dificilmente isso será possível, pois pelo facto de ocorrerem situações como trânsito ou avarias, leva a que esses mesmos modelos não sejam utilizados pelas empresas.

Por esse motivo foi proposto nesta dissertação uma nova abordagem, sendo ela conhecida como heurística do *cluster* mais próximo. Esta junta o *clustering* com uma variante da heurística do vizinho mais próximo e ao invés de recorrer a uma tabela de distâncias entre clientes, como ocorre na heurística do vizinho mais próximo, recorre a uma tabela de distâncias artificiais que contém a contagem dos distritos/concelhos que é necessário visitar/atravessar para viajar entre todos os distritos e concelhos de Portugal

Continental. Desta forma não é necessário perder tempo a calcular a distância entre todos os clientes, pois sempre que um cliente for associado ao problema a sua distância já será previamente conhecida.

Após ter sido realizada uma apresentação da Tecniwood-Soluções onde foi possível compreender a tipologia dos materiais movimentados, dos clientes abastecidos e do funcionamento da sua cadeia de abastecimento foi apresentada uma instância real de um dia de planeamento de cargas/rotas da Tecniwood-Soluções. Desta forma foi possível testar como o algoritmo se comportaria perante uma instância real da Tecniwood-Soluções. Esta instância contava com restrições de capacidade de carga e com uma frota heterogénea limitada o que levou a que existissem algumas relações de dependência entre alguns clientes e o veículo de maior capacidade de carga. Após definir as prioridades a realizar o sistema permitiu encontrar uma boa solução num curto período de tempo, utilizando apenas mais uma rota que o mínimo possível.

Apesar de a heurística do *cluster* mais próximo aqui apresentada já conseguir alcançar bons resultados num curto período de tempo, será ainda necessário concluir algumas etapas de modo a alcançar soluções mais precisas. Entre essas etapas destaca-se a conclusão da matriz das distâncias no que diz respeito às freguesias, pois neste momento recorrendo apenas aos concelhos ainda se pode obter uma margem de erro grande nas soluções obtidas.

Outra das etapas passa por associar tempos de descarga nos clientes, sendo que esse tempo pode depender da viatura utilizada e/ou do facto de os clientes possuírem boas ou más condições de descarga. Será também necessário estipular um tempo médio por cada unidade de distância de *cluster* percorrido e assim já será possível inserir a restrição da capacidade temporal no modelo. Terá ainda que se preparar o modelo para lidar com as habituais restrições que ocorrem todos os dias no planeamento de rotas da Tecniwood-Soluções, como por exemplo: janelas temporais, operações de recolha, entre muitas outras.

Será também necessário concluir o desenvolvimento do software aqui apresentado, tendo-se por objetivo aplicar outras heurísticas no processo de formação de rotas.

## Referências bibliográficas

Archetti, C., Hertz, A., Speranza, M.G., (2007) "Metaheuristics for the team orienteering problem", *Journal of Heuristics*, 13, 49–76.

Badem, D.J., Mueller, J.K., (1999) "NEW FOR THE MILLENIUM-4PL", *Transportation & Distribution*.

Barreto, S., Ferreira, C., Paixao, J., Santos, B.S., (2007) "Using clustering analysis in a capacitated location-routing problem", *European Journal of Operational Research*, 179, 968–977.

Bochtis, D.D., Sørensen, C.G., (2009) "The vehicle routing problem in field logistics part I", *Biosystems Engineering*, 104, 447–457.

Boeing (2011) "Technical Characteristics -- Boeing 747-400 Freighter", [Data de acesso: 04/01/2011]. Disponível em [www:<URL:](http://www.boeing.com/commercial/747family/pf/pf_400f_prod.html)

[http://www.boeing.com/commercial/747family/pf/pf\\_400f\\_prod.html](http://www.boeing.com/commercial/747family/pf/pf_400f_prod.html)

Bouly, H., Dang, D.C., Moukrim, A., (2010) "A memetic algorithm for the team orienteering problem", *4OR: A Quarterly Journal of Operations Research*, 8, 49–70.

Boussier, S., Feillet, D., Gendreau, M., (2007) "An exact algorithm for team orienteering problems", *4OR: A Quarterly Journal of Operations Research*, 5, 211–230.

Bouthillier, A.L., Crainic, T.G., (2005) "A cooperative parallel meta-heuristic for the vehicle routing problem with time windows", *Computers & Operations Research*, 32, 1685–1708.

Büyüközkan, G., Feyzioğlu, O., Şakir Ersoy, M., (2009) "Evaluation of 4PL operating models: A decision making approach based on 2-additive Choquet integral", *International Journal of Production Economics*, 121, 112–120.

Cao, E., Lai, M., (2010) "The open vehicle routing problem with fuzzy demands", *Expert Systems with Applications*, 37:2405, 2405–2411.

Carvalho, J.M.V. (1998) “Optimização combinatória – Apontamentos”, Apontamentos da Unidade Curricular de Optimização da Cadeia de Abastecimentos, Departamento de Produção e Sistemas, Universidade do Minho.

Chen, K., Har-Peled, S., (2010) "The Euclidean orienteering problem revisited", *SIAM Journal on Computing*, 38, 385.

Cordeau, J.F., Laporte, G., Savelsbergh, M.W.P., Vigo, D., (2007) "Vehicle routing" *Transportation, handbooks in operations research and management science*, 14, 367–428.

Ding, C., Cheng, Y., He, M., (2007) "Two-level genetic algorithm for clustered traveling salesman problem with application in large-scale TSPs", *Tsinghua Science & Technology*, 12, 459–465.

Ganesh, K., Narendran, T.T., (2007) "CLOVES: a cluster-and-search heuristic to solve the vehicle routing problem with delivery and pick-up", *European Journal of Operational Research*, 178, 699–717.

Ghaziri, H., Osman, I.H., (2003) "A neural network algorithm for the traveling salesman problem with backhauls", *Computers & Industrial Engineering*, 44, 267–281.

Hesse, M., Rodrigue, J.P., (2004) "The transport geography of logistics and freight distribution", *Journal of transport geography*, 12, 171–184.

Hsiao, H.I., Kemp, R.G.M., Van der Vorst, J., Omta, S.W.F., (2010) "A classification of logistic outsourcing levels and their impact on service performance: Evidence from the food processing industry", *International Journal of Production Economics*, 124, 75–86.

Hurkens, C.A.J., Woeginger, G.J., (2004) "On the nearest neighbor rule for the traveling salesman problem", *Operations Research Letters*, 32, 1–4.

Kang, K.H., Lee, B.K., Lee, Y.H., Lee, Y.H., (2008) "A heuristic for the vehicle routing problem with due times", *Computers & Industrial Engineering*, 54:421, 421–431.

Kim, B.I., Kim, S., Sahoo, S., (2006) "Waste collection vehicle routing problem with time windows" *Computers & Operations Research*, 33, 3624–3642.

Labadie, N., Melechovský, J., Wolfler Calvo, R., (2011) "Hybridized evolutionary local search algorithm for the team orienteering problem with time windows", *Journal of Heuristics*, 17, 729–753.

Li, Z., Wang, R.S., Liu, H.W., Zhou, W., (2010) "Models and Algorithms for the Constrained Orienteering Problem", *ORSC & APORC*, 89-97.

Liu, S., Huang, W., Ma, H., (2009) "An effective genetic algorithm for the fleet size and mix vehicle routing problems", *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 45, 434–445.

Marasco, A., (2008) "Third-party logistics: A literature review", *International Journal of Production Economics*, 113, 127–147.

Mester, D., Bräysy, O., Dullaert, W., (2007) "A multi-parametric evolution strategies algorithm for vehicle routing problems", *Expert Systems with Applications*, 32, 508–517.

Mourão, M.C., Nunes, A.C., Prins, C., (2009) "Heuristic methods for the sectoring arc routing problem", *European Journal of Operational Research*, 196, 856–868.

Nagy, G., Salhi, S., (2005) "Heuristic algorithms for single and multiple depot vehicle routing problems with pickups and deliveries", *European Journal of Operational Research*, 162, 126–141.

Pisinger, D., Ropke, S., (2007) "A general heuristic for vehicle routing problems", *Computers & Operations Research*, 34, 2403–2435.

Rodrigue, J.P., Slack, B., (2002) "Logistics and national security", *Science, Technology, and National Security Easton, PA: Pennsylvania Academy of Science*, 214-225.

Saunders, M., Lewis, P., Thornhill, A., (2009) *Research methods for business students*, Prentice Hall.

Schilde, M., Doerner, K.F., Hartl, R.F., Kiechle, G., (2009) "Metaheuristics for the bi-objective orienteering problem", *Swarm Intelligence*, 3, 179–201.

Souffriau, W., Vansteenwegen, P., Berghe, G.V., Oudheusden, D., (2008) "A greedy randomised adaptive search procedure for the team orienteering problem", *Proceedings of EU/MEeting*.

Swan Transportation Services, LTD (2011) "You know your destination...we know how to get there", [Data de acesso: 06/01/2011]. Disponível em [www:<URL:](http://www.swantransok.com/aboutus.aspx)

<http://swantransok.com/aboutus.aspx>

Tang, L., Wang, X., (2006) "Iterated local search algorithm based on very large-scale neighborhood for prize-collecting vehicle routing problem", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 29, 1246–1258.

Tecniwood-Madeicávado – Madeiras, SA (2011) "Onde estamos", [Data de acesso: 16/01/2011]. Disponível em [www:<URL:](http://www.tecniwood.pt/scid/gtwpt/defaultCategoryViewOne.asp?categoryID=498)

<http://www.tecniwood.pt/scid/gtwpt/defaultCategoryViewOne.asp?categoryID=498>

Tecniwood-Soluções – Madeiras e Derivados, Lda. (2012) "Representadas", [Data de acesso: 27/05/2012]. Disponível em [www:<URL:](http://www.tecniwood.pt/scid/damadpt/defaultCategoryViewOne.asp?categoryID=497)

<http://solucoes.tecniwood.pt/scid/damadpt/defaultCategoryViewOne.asp?categoryID=497>

Tranfield, D., Starkey, K., (1998) "The nature, social organization and promotion of management research: towards policy", *British Journal of Management*, 9, 341–353.

Trochim, W.M., Donnelly, J.P., (2001) *Research methods knowledge base*, Atomic Dog Pub.

Walliman, N.S.R., (2005) *Your research project: a step-by-step guide for the first-time researcher*, Sage Publications Ltd.



Yoshiike, N., Takefuji, Y., (2002) "Solving vehicle routing problems by maximum neuron model", *Advanced Engineering Informatics*, 16:99, 99–105.

# Anexos

# Concelhos constituintes de Portugal Continental

De seguida são apresentadas várias tabelas de onde constam os concelhos pertencentes a cada distrito de Portugal Continental, assim como o respetivo código de distrito e código de concelho que é utilizado pela heurística do *cluster* mais próximo. Das tabelas consta ainda uma ilustração do mapa de cada distrito e concelho.

Tabela 4 – Concelhos constituintes do distrito de Aveiro

Cod Distrito	Cod Concelho	Distrito	Concelho	
01	0101	Aveiro	Águeda	
01	0102	Aveiro	Albergaria-a-Velha	
01	0103	Aveiro	Anadia	
01	0104	Aveiro	Arouca	
01	0105	Aveiro	Aveiro	
01	0106	Aveiro	Castelo de Paiva	
01	0107	Aveiro	Espinho	
01	0108	Aveiro	Estarreja	















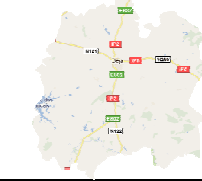

01	0109	Aveiro	Santa Maria da Feira	
01	0110	Aveiro	Ílhavo	
01	0111	Aveiro	Mealhada	
01	0112	Aveiro	Murtosa	
01	0113	Aveiro	Oliveira de Azeméis	
01	0114	Aveiro	Oliveira do Bairro	
01	0115	Aveiro	Ovar	
01	0116	Aveiro	São João da Madeira	
01	0117	Aveiro	Sever do Vouga	
01	0118	Aveiro	Vagos	
01	0119	Aveiro	Vale de Cambra	

Tabela 5 – Concelhos constituintes do distrito de Beja

Cod Distrito	Cod Concelho	Distrito	Concelho	
02	0201	Beja	Aljustrel	
02	0202	Beja	Almodôvar	
02	0203	Beja	Alvito	
02	0204	Beja	Barrancos	
02	0205	Beja	Beja	
02	0206	Beja	Castro Verde	



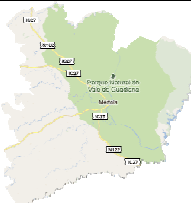

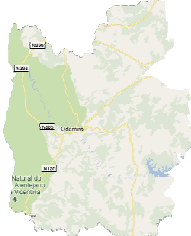












02	0207	Beja	Cuba	
02	0208	Beja	Ferreira do Alentejo	
02	0209	Beja	Mértola	
02	0210	Beja	Moura	
02	0211	Beja	Odemira	
02	0212	Beja	Ourique	
02	0213	Beja	Serpa	
02	0214	Beja	Vidigueira	

Tabela 6 – Concelhos constituintes do distrito de Braga

Cod Distrito	Cod Concelho	Distrito	Concelho	
03	0301	Braga	Amares	
03	0302	Braga	Barcelos	
03	0303	Braga	Braga	


03	0304	Braga	Cabeceiras de Basto	
03	0305	Braga	Celorico de Basto	
03	0306	Braga	Esposende	
03	0307	Braga	Fafe	
03	0308	Braga	Guimarães	
03	0309	Braga	Póvoa de Lanhoso	
03	0310	Braga	Terras de Bouro	
03	0311	Braga	Vieira do Minho	
03	0312	Braga	Vila Nova de Famalicão	
03	0313	Braga	Vila Verde	
03	0314	Braga	Vizela	

Tabela 7 – Concelhos constituintes do distrito de Bragança

Cod Distrito	Cod Concelho	Distrito	Concelho	
04	0401	Bragança	Alfândega da Fé	
04	0402	Bragança	Bragança	
04	0403	Bragança	Carrazeda de Ansiães	
04	0404	Bragança	Freixo de Espada à Cinta	









04	0405	Bragança	Macedo de Cavaleiros	
04	0406	Bragança	Miranda do Douro	
04	0407	Bragança	Mirandela	
04	0408	Bragança	Mogadouro	
04	0409	Bragança	Torre de Moncorvo	
04	0410	Bragança	Vila Flor	
04	0411	Bragança	Vimioso	
04	0412	Bragança	Vinhais	

Tabela 8 – Concelhos constituintes do distrito de Castelo Branco

Cod Distrito	Cod Concelho	Distrito	Concelho	
05	0501	Castelo Branco	Belmonte	
05	0502	Castelo Branco	Castelo Branco	
05	0503	Castelo Branco	Covilhã	

05	0504	Castelo Branco	Fundão	
05	0505	Castelo Branco	Idanha-a-Nova	
05	0506	Castelo Branco	Oleiros	
05	0507	Castelo Branco	Penamacor	
05	0508	Castelo Branco	Proença-a-Nova	
05	0509	Castelo Branco	Sertão	
05	0510	Castelo Branco	Vila de Rei	
05	0511	Castelo Branco	Vila Velha de Ródão	

Tabela 9 – Concelhos constituintes do distrito de Coimbra

Cod Distrito	Cod Concelho	Distrito	Concelho	
06	0601	Coimbra	Arganil	
06	0602	Coimbra	Cantanhede	
06	0603	Coimbra	Coimbra	
06	0604	Coimbra	Condeixa-a-Nova	
06	0605	Coimbra	Figueira da Foz	
06	0606	Coimbra	Góis	
06	0607	Coimbra	Lousã	















06	0608	Coimbra	Mira	
06	0609	Coimbra	Miranda do Corvo	
06	0610	Coimbra	Montemor-o-Velho	
06	0611	Coimbra	Oliveira do Hospital	
06	0612	Coimbra	Pampilhosa da Serra	
06	0613	Coimbra	Penacova	
06	0614	Coimbra	Penela	
06	0615	Coimbra	Soure	
06	0616	Coimbra	Tábua	
06	0617	Coimbra	Vila Nova de Poiares	

Tabela 10 – Concelhos constituintes do distrito de Évora

Cod Distrito	Cod Concelho	Distrito	Concelho	
07	0701	Évora	Alandroal	
07	0702	Évora	Arraiolos	
07	0703	Évora	Borba	
07	0704	Évora	Estremoz	
07	0705	Évora	Évora	








07	0706	Évora	Montemor-o-Novo	
07	0707	Évora	Mora	
07	0708	Évora	Mourão	
07	0709	Évora	Portel	
07	0710	Évora	Redondo	
07	0711	Évora	Reguengos de Monsaraz	
07	0712	Évora	Vendas Novas	
07	0713	Évora	Viana do Alentejo	
07	0714	Évora	Vila Viçosa	

Tabela 11 – Concelhos constituintes do distrito de Faro

Cod Distrito	Cod Concelho	Distrito	Concelho	
08	0801	Faro	Albufeira	
08	0802	Faro	Alcoutim	
08	0803	Faro	Aljezur	
08	0804	Faro	Castro Marim	
08	0805	Faro	Faro	
08	0806	Faro	Lagoa (Algarve)	
08	0807	Faro	Lagos	

08	0808	Faro	Loulé	
08	0809	Faro	Monchique	
08	0810	Faro	Olhão	
08	0811	Faro	Portimão	
08	0812	Faro	São Brás de Alportel	
08	0813	Faro	Silves	
08	0814	Faro	Tavira	
08	0815	Faro	Vila do Bispo	
08	0816	Faro	Vila Real de Santo António	

Tabela 12 – Concelhos constituintes do distrito da Guarda

Cod Distrito	Cod Concelho	Distrito	Concelho	
09	0901	Guarda	Aguiar da Beira	
09	0902	Guarda	Almeida	
09	0903	Guarda	Celorico da Beira	
09	0904	Guarda	Figueira de Castelo Rodrigo	
09	0905	Guarda	Fornos de Algodres	
09	0906	Guarda	Gouveia	







09	0907	Guarda	Guarda	
09	0908	Guarda	Manteigas	
09	0909	Guarda	Meda	
09	0910	Guarda	Pinhel	
09	0911	Guarda	Sabugal	
09	0912	Guarda	Seia	
09	0913	Guarda	Trancoso	
09	0914	Guarda	Vila Nova de Foz Côa	

Tabela 13 – Concelhos constituintes do distrito de Leiria

Cod Distrito	Cod Concelho	Distrito	Concelho	
10	1001	Leiria	Alcobaça	
10	1002	Leiria	Alvaiázere	
10	1003	Leiria	Ansião	
10	1004	Leiria	Batalha	
10	1005	Leiria	Bombarral	
10	1006	Leiria	Caldas da Rainha	
10	1007	Leiria	Castanheira de Pêra	










10	1008	Leiria	Figueiró dos Vinhos	
10	1009	Leiria	Leiria	
10	1010	Leiria	Marinha Grande	
10	1011	Leiria	Nazaré	
10	1012	Leiria	Óbidos	
10	1013	Leiria	Pedrógão Grande	
10	1014	Leiria	Peniche	
10	1015	Leiria	Pombal	
10	1016	Leiria	Porto de Mós	

Tabela 14 – Concelhos constituintes do distrito de Lisboa

Cod Distrito	Cod Concelho	Distrito	Concelho	
11	1101	Lisboa	Alenquer	
11	1102	Lisboa	Arruda dos Vinhos	
11	1103	Lisboa	Azambuja	
11	1104	Lisboa	Cadaval	
11	1105	Lisboa	Cascais	
11	1106	Lisboa	Lisboa	
11	1107	Lisboa	Loures	
11	1108	Lisboa	Lourinhã	
11	1109	Lisboa	Mafra	














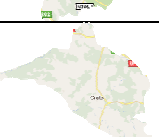



11	1110	Lisboa	Oeiras	
11	1111	Lisboa	Sintra	
11	1112	Lisboa	Sobral de Monte Agraço	
11	1113	Lisboa	Torres Vedras	
11	1114	Lisboa	Vila Franca de Xira	
11	1115	Lisboa	Amadora	
11	1116	Lisboa	Odivelas	

Tabela 15 – Concelhos constituintes do distrito de Portalegre

Cod Distrito	Cod Concelho	Distrito	Concelho	
12	1201	Portalegre	Alter do Chão	
12	1202	Portalegre	Arronches	
12	1203	Portalegre	Avis	
12	1204	Portalegre	Campo Maior	
12	1205	Portalegre	Castelo de Vide	
12	1206	Portalegre	Crato	
12	1207	Portalegre	Elvas	
12	1208	Portalegre	Fronteira	
12	1209	Portalegre	Gavião	



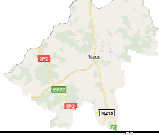














12	1210	Portalegre	Marvão	
12	1211	Portalegre	Monforte	
12	1212	Portalegre	Nisa	
12	1213	Portalegre	Ponte de Sor	
12	1214	Portalegre	Portalegre	
12	1215	Portalegre	Sousel	

Tabela 16 – Concelhos constituintes do distrito do Porto

Cod Distrito	Cod Concelho	Distrito	Concelho	
13	1301	Porto	Amarante	
13	1302	Porto	Baião	
13	1303	Porto	Felgueiras	
13	1304	Porto	Gondomar	
13	1305	Porto	Lousada	
13	1306	Porto	Maia	
13	1307	Porto	Marco de Canaveses	
13	1308	Porto	Matosinhos	
13	1309	Porto	Paços de Ferreira	
13	1310	Porto	Paredes	






















13	1311	Porto	Penafiel	
13	1312	Porto	Porto	
13	1313	Porto	Póvoa de Varzim	
13	1314	Porto	Santo Tirso	
13	1315	Porto	Valongo	
13	1316	Porto	Vila do Conde	
13	1317	Porto	Vila Nova de Gaia	
13	1318	Porto	Trofa	

Tabela 17 – Concelhos constituintes do distrito de Santarém

Cod Distrito	Cod Concelho	Distrito	Concelho	
14	1401	Santarém	Abrantes	
14	1402	Santarém	Alcanena	
14	1403	Santarém	Almeirim	
14	1404	Santarém	Alpiarça	
14	1405	Santarém	Benavente	
14	1406	Santarém	Cartaxo	
14	1407	Santarém	Chamusca	
14	1408	Santarém	Constância	
14	1409	Santarém	Coruche	
14	1410	Santarém	Entroncamento	
14	1411	Santarém	Ferreira do Zêzere	
14	1412	Santarém	Golegã	






















14	1413	Santarém	Mação	
14	1414	Santarém	Rio Maior	
14	1415	Santarém	Salvaterra de Magos	
14	1416	Santarém	Santarém	
14	1417	Santarém	Sardoal	
14	1418	Santarém	Tomar	
14	1419	Santarém	Torres Novas	
14	1420	Santarém	Vila Nova da Barquinha	
14	1421	Santarém	Ourém	

Tabela 18 – Concelhos constituintes do distrito de Setúbal

Cod Distrito	Cod Concelho	Distrito	Concelho	
15	1501	Setúbal	Alcácer do Sal	
15	1502	Setúbal	Alcochete	
15	1503	Setúbal	Almada	
15	1504	Setúbal	Barreiro	
15	1505	Setúbal	Grândola	
15	1506	Setúbal	Moita	
15	1507	Setúbal	Montijo	
15	1508	Setúbal	Palmela	
15	1509	Setúbal	Santiago do Cacém	





15	1510	Setúbal	Seixal	
15	1511	Setúbal	Sesimbra	
15	1512	Setúbal	Setúbal	
15	1513	Setúbal	Sines	

Tabela 19 – Concelhos constituintes do distrito de Viana do Castelo















Cod Distrito	Cod Concelho	Distrito	Concelho	
16	1601	Viana do Castelo	Arcos de Valdevez	
16	1602	Viana do Castelo	Caminha	
16	1603	Viana do Castelo	Melgaço	
16	1604	Viana do Castelo	Monção	
16	1605	Viana do Castelo	Paredes de Coura	
16	1606	Viana do Castelo	Ponte da Barca	
16	1607	Viana do Castelo	Ponte de Lima	
16	1608	Viana do Castelo	Valença	
16	1609	Viana do Castelo	Viana do Castelo	
16	1610	Viana do Castelo	Vila Nova de Cerveira	

Tabela 20 – Concelhos constituintes do distrito de Vila Real

Cod Distrito	Cod Concelho	Distrito	Concelho	
17	1701	Vila Real	Alijó	
17	1702	Vila Real	Boticas	











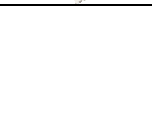


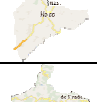

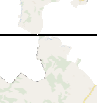







17	1703	Vila Real	Chaves	
17	1704	Vila Real	Mesão Frio	
17	1705	Vila Real	Mondim de Basto	
17	1706	Vila Real	Montalegre	
17	1707	Vila Real	Murça	
17	1708	Vila Real	Peso da Régua	
17	1709	Vila Real	Ribeira de Pena	
17	1710	Vila Real	Sabrosa	
17	1711	Vila Real	Santa Marta de Penaguião	
17	1712	Vila Real	Valpaços	
17	1713	Vila Real	Vila Pouca de Aguiar	
17	1714	Vila Real	Vila Real	

Tabela 21 – Concelhos constituintes do distrito de Viseu

Cod Distrito	Cod Concelho	Distrito	Concelho	
18	1801	Viseu	Armamar	
18	1802	Viseu	Carregal do Sal	
18	1803	Viseu	Castro Daire	
18	1804	Viseu	Cinfães	
18	1805	Viseu	Lamego	
18	1806	Viseu	Mangualde	

18	1807	Viseu	Moimenta da Beira	
18	1808	Viseu	Mortágua	
18	1809	Viseu	Nelas	
18	1810	Viseu	Oliveira de Frades	
18	1811	Viseu	Penalva do Castelo	
18	1812	Viseu	Penedono	
18	1813	Viseu	Resende	
18	1814	Viseu	Santa Comba Dão	
18	1815	Viseu	São João da Pesqueira	
18	1816	Viseu	São Pedro do Sul	
18	1817	Viseu	Sátão	
18	1818	Viseu	Sernancelhe	
18	1819	Viseu	Tabuaço	
18	1820	Viseu	Tarouca	
18	1821	Viseu	Tondela	
18	1822	Viseu	Vila Nova de Paiva	
18	1823	Viseu	Viseu	
18	1824	Viseu	Vouzela	